la investigación científica

mario bunge



LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Su estrategia y su filosofía

por
MARIO BUNGE

traducción de
MANUEL SACRISTÁN

LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Su estrategia y su filosofía

por
MARIO BUNGE





siglo xxi editores, s.a. de c.v.
CERRO DEL AGUA 248, DELEGACIÓN COYOACÁN, 04310, MEXICO, D.F.

siglo xxi editores argentina, s.a.
TUCUMÁN 1621, 7 N, C1050AAG, BUENOS AIRES, ARGENTINA

portada de patricia reyes baca

primera edición, 2000 (corregida de la 2a. ed., barcelona, ariel)
tercera edición, 2004

isbn 968-23-2225-1

impreso y hecho en méxico/printed and made in mexico

ÍNDICE

PRÓLOGO A LA PRESENTE EDICIÓN xi

UN CUENTO PARA EMPEZAR xiii

CÓMO USAR ESTE LIBRO xv

PARTE I. ENFOQUE Y HERRAMIENTAS

1. EL ENFOQUE CIENTÍFICO 3

1.1. Conocimiento: ordinario y científico, 3; 1.2. El método científico, 7; 1.3. La táctica científica, 13; 1.4. Las ramas de la ciencia, 19; 1.5. Objetivo y alcance de la ciencia, 23; 1.6. Pseudociencia, 32; Bibliografía, 39

2. CONCEPTO 41

2.1. Lenguajes científicos, 41; 2.2. Término y concepto, 50; 2.3. Intensión y referencia, 58; 2.4. División, ordenación y sistemática, 66; 2.5. De la sistemática preteórica a la teórica, 73; 2.6. Sistemática de conceptos, 79; Bibliografía, 85

3. DILUCIDACIÓN 87

3.1. Vaguedad y casos limítrofes, 87; 3.2. Exactificación, 96; 3.3. Definición, 104; 3.4. *Problemas de la definición, 114; 3.5. Interpretación, 122; 3.6. Procedimientos interpretativos, 128; 3.7. La "validez" de los conceptos, 136; Bibliografía, 142

PARTE II. LAS IDEAS CIENTÍFICAS

4. PROBLEMA 145

4.1. La fuente de la ciencia, 146; 4.2. *Lógica de problemas, 149; 4.3. Problemas científicos, 161; 4.4. Un paradigma, un marco y una comparación, 168; 4.5. Heurística, 174; 4.6. El fin de los problemas científicos, 179; 4.7. Problemas filosóficos, 187; Bibliografía, 193

5. HIPÓTESIS 194

5.1. Significados de 'hipótesis', 194; 5.2. Formulación, 199; 5.3. *Clases: forma y contenido, 207; 5.4. Clases: punto de vista gnoseológico, 212; 5.5. Fundamento, 220; 5.6. Contrastabilidad, 227; 5.7. Requisitos, 237; 5.8. Funciones, 243; 5.9. Hipótesis filosóficas en la ciencia, 252; Bibliografía, 263

6. LEY 265

6.1. Variables e invariantes, 265; 6.2. La búsqueda de leyes, 273; 6.3. Clases, 282; 6.4. Forma y contenido, 290; 6.5. Fórmulas y pautas, 299; 6.6. Requisitos, 309; 6.7. *Leyes de leyes, 316; 6.8. La regla de la ley, 322; Bibliografía, 330

7. TEORÍA: ESTÁTICA 332

7.1. El sistema nervioso de la ciencia, 332; 7.2. La unidad conceptual, 342; 7.3. Deducibilidad, 350; 7.4. Teoría abstracta e interpretación, 362; 7.5. *Probabilidad: cálculo, modelos, interpretaciones erróneas, 371; 7.6. *Desiderata formales, 383; Bibliografía, 393

8. TEORÍA: DINÁMICA 394

8.1. Construcción de teorías, 394; 8.2. Matematización, 409; 8.3. *Reconstrucción (formalización),434; 8.4. Referencia y evidencia, 434; 8.5. Profundidad, 445; Bibliografía, 455

PARTE III. LA APLICACIÓN DE LAS IDEAS CIENTÍFICAS: DE LA EXPLICACIÓN A LA ACCIÓN

9. EXPLICACIÓN 459

9.1. Contestación a los porqués, 459; 9.2. Explicación no científica, 464; 9.3. Subsunción científica, 471; 9.4. Explicación mecanísmica, 478; 9.5. *Explicación mecanísmica y reducción a leyes, 485; 9.6. Poder explicativo, 494; 9.7. Funciones y alcance, 503; Bibliografía, 512

10. PREDICCIÓN 513

10.1. Proyección, 513; 10.2. Proyección estocástica, 520; 10.3. Proyección histórica, 529; 10.4. Potencia proyectiva, 539; 10.5. Dificultades y paradojas, 550; Bibliografía, 560

11. ACCIÓN 562

11.1. Verdad y acción, 562; 11.2. La regla tecnológica, 571; 11.3. La previsión tecnológica, 578; Bibliografía, 586

PARTE IV. LA CONTRASTACIÓN DE LAS IDEAS CIENTÍFICAS: DE LA OBSERVACIÓN A LA INFERENCIA

12. OBSERVACIÓN 591

12.1. Hecho, 591; 12.2. Observabilidad, 599; 12.3. Indicador, 607; 12.4. Datos y evidencia, 612; 12.5. Funciones, 620; Bibliografía, 625

13. MEDICIÓN 627

13.1. Cuantificación numérica, 627; 13.2 Valor medido, 638; 13.3. Cómputo, 644; 13.4. Escala y unidad, 650; 13.5. Técnicas, 661; 13.6. Resultado, 670; Bibliografía, 676

14. EXPERIMENTO 678

14.1. Cambio planificado, 678; 14.2. Control, 686; 14.3. Proyecto, 693; 14.4. Significación, 698; 14.5. Prueba de la contrastación, 703; 14.6. Funciones, 706; Bibliografía, 711

15. LA INFERENCIA CIENTÍFICA 712

15.1. Inferencia, 712; 15.2. Contrastación de proposiciones observacionales, 719; 15.3. Contrastación de hipótesis, 725; 15.4. Confirmación y refutación, 735; 15:5. Una historia ejemplar: Torricelli, 746; 15.6. Contrastación de teorías,753; 15.7. Examen de teorías, 762; Bibliografía, 775

EPÍLOGO. FINES Y MEDIOS DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA 776

Bibliografía, 780

SÍMBOLOS ESPECIALES 782

ÍNDICE ONOMÁSTICO 783

ÍNDICE ANALÍTICO 791

PRÓLOGO A LA PRESENTE EDICIÓN

Tanto los defensores como los detractores de la modernidad concuerdan en que sus motores son la ciencia y la técnica. Sin embargo, éstas son practicadas por pocos y entendidas por menos. Para peor, son ampliamente incomprendidas. Por ejemplo, suele confundírselas entre sí y atribuírseles todos los bienes o, al contrario, todos los males de nuestro tiempo. También ocurre que se las admira pero se las considera artículos suntuarios, particularmente en los países subdesarrollados. Son pocos quienes advierten que, por carecer de ciencia y técnica propias, estos países no se desarrollan en profundidad ni de manera sostenible.

Hay dos maneras de entender lo que son la ciencia y la técnica. Una es estudiarlas y practicarlas. La otra es hacer filosofía, historia, sociología o antropología de la ciencia y de la técnica. La filosofía de esos campos de la cultura ayuda a entender qué son; la historia, qué fueron y cuáles fueron las estrategias exitosas; y la sociología y la antropología, cómo modifican a la sociedad y a su vez cómo ésta las condiciona.

Ambas vías se complementan mutuamente. Mal se puede hacer filosofía, historia, sociología o antropología de X, si no se sabe algo de X. Y quien se dedica exclusivamente a hacer X corre peligro de extraviarse y se priva del placer de entender cabalmente qué está haciendo, de enterarse qué tradición está prolongando o modificando, y cuáles son las fuerzas económicas, políticas o ideológicas que estimulan o inhiben el desarrollo de su disciplina.

Esto vale no sólo para quienes estudian o hacen ciencia o técnica, sino también para quienes administran centros científicos o diseñan políticas de desarrollo (o subdesarrollo) científico y técnico. Por ejemplo, quien crea que toda investigación es experimental descuidará la investigación teórica; quien crea que las ideas emanan de grupos favorecerá a los equipos de investigadores, por mediocres que éstos sean; quien crea que las computadoras piensan preferirá invertir más en ellas que en cerebros; quien crea que la técnica es una colección de artefactos preferirá importarlos a formar buenos técnicos; y quien crea que el mercado empuja a la técnica, y nunca al revés, dirá que el mercado nacional no necesita técnicos originales. La buena filosofía guía, la mala extravía.

Los lectores al tanto de la moda posmoderna advertirán que el autor se quedó atrás: aún cree que la ciencia procura verdades, y que éste es el motivo por el cual importan tanto las pruebas; aún cree que las ideas se forman en cerebros individuales aunque, desde luego, se comparten y se discuten en grupos; aún cree que la claridad es condición necesaria de todo discurso racional, y aún cree que éste merece ser cultivado y protegido.

Este tratado es fruto de los cursos y seminarios sobre metodología y filosofía de la ciencia dictados por el autor en las universidades de Buenos Aires, Pennsylvania, Montevideo, Texas, Temple, Delaware, Freiburg i.Br., McGill, ETH (Zürich), México, Ginebra y varias otras durante cuatro décadas. Las notas y borradores sucesivos fueron ensa-

yados con los estudiantes y corregidos a la luz de la experiencia recogida, así como de observaciones de docenas de colegas en una veintena de países.

Ésta es la tercera edición de la traducción castellana de *Scientific Research* (Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer, 1967, 1973). Esta obra fue reeditada bajo el título *Philosophy of Science* (New Brunswick, NJ: Transaction Publishers, 1998). La primera edición en castellano de este tratado apareció en 1969. En la presente edición se han introducido numerosas correcciones y se ha actualizado la bibliografía. Para la dilucidación de puntos especiales me remito a los ocho tomos de mi *Treatise on Basic Philosophy* (Dordrecht-Boston, Reidel-Kluwer, 1974-1989), así como a mis demás libros.

Dedico esta obra a mi mujer, Marta, quien me alentó a escribirlo y pulirlo.

MARIO BUNGE
Foundations & Philosophy of Science Unit
McGill University, Montreal

UN CUENTO PARA EMPEZAR

Los cinco Sabios del Reino de *, de vuelta de una larga estancia en la República de **, se estaban quietos y temerosos ante su soberana la Reina: estaban informando a la Reina acerca de la Cosa Rara que existe en aquella república.

"Dinos, oh sabio Protos, ¿qué aspecto tiene la Cosa Rara?", preguntó la Reina al sabio más anciano.

"La Cosa Rara a la que llaman Ciencia, oh Majestad, puede registrar y comprimir todos los hechos. En realidad, la Ciencia es un enorme Registro." Así habló Protos.

"¡Que le corten la cabeza!", gritó la Reina, roja de ira. "¡Cómo podemos creer que la Cosa Rara es una máquina sin pensamiento, cuando hasta Nos tenemos ideas?" Tras de lo cual se dirigió a Deúteros, el más viejo de los sabios que quedaban.

"Dinos, oh sabio Deúteros, ¿qué aspecto tiene la Cosa Rara?"

"La Cosa Rara, Majestad, no es un registrador pasivo, sino un atareado molino de información: absorbe toneladas de datos en bruto y los elabora y presenta en orden. Mi decisión es que la Ciencia es un enorme Calculador." Así habló Deúteros.

"¡Que le corten la cabeza!", gritó la Reina, verde de ira. "¿Cómo podemos creer que la Cosa Rara es un autómata si hasta Nos tenemos caprichos y flaquezas?" Tras de lo cual se dirigió a Tritos, el de media edad.

"Dinos, oh sabio Tritos, ¿qué aspecto tiene la Cosa Rara?"

"No hay tal Cosa Rara, Majestad. La ciencia es un Juego esotérico. Los que lo juegan establecen sus reglas, y las cambian de vez en cuando de un modo misterioso. Nadie sabe a qué juegan ni con qué fin. Admitamos, pues, que la Ciencia, como el lenguaje, es un Juego." Así habló Tritos.

"¡Que le corten la cabeza!", gritó la Reina, amarilla de ira. "¿Cómo podemos creer que la Cosa Rara no se toma las cosas en serio, cuando hasta Nos somos capaces de hacerlo?"

Tras de lo cual se dirigió a Tétartos, sabio maduro.

"Dinos, oh sabio Tétartos, ¿qué aspecto tiene la Cosa Rara?"

"La Cosa Rara, oh Majestad, es un hombre que medita y ayuna. Tiene visiones, intenta probar que son erradas y no se enorgullece cuando no lo consigue. Yo creo que la Ciencia –y reto a todos a que me refuten– es un Visionario Flagelante." Así habló Tétartos.

"¡Que le corten la cabeza!", gritó la Reina, blanca de ira. "Este informe es más sutil que los otros, pero ¿cómo podemos creer que a la Cosa Rara no le importan la justificación ni la gratificación cuando hasta Nos las procuramos?"

Tras de lo cual se dirigió a Pentós, el joven sabio.

Pero Pentós, temiendo por su vida, había huido ya. Huyó sin parar durante días y noches, hasta que cruzó la frontera del Reino de * y llegó a mi despacho, en el que ha estado trabajando desde entonces. Pentós ha terminado de escribir su voluminoso *Informe sobre la Cosa Rara, su Anatomía, su Fisiología y su Comportamiento*, que yo he traducido al inglés. Aún acosado por sus dolorosos recuerdos de las rudas costumbres vi-

gentes en el Reino de *, Pentós desea permanecer en el anonimato. Teme, acaso con razón, que esta exposición de la Cosa Rara será poco gustada, puesto que la gente prefiere sencillos credos en blanco y negro en los que pueda creer con certeza. La impresión de Pentós sobre la Cosa Rara es, en efecto, mucho más complicada que los modelos del Registro, el Calculador, el Juego o el Visionario Flagelante, aunque reconoce su deuda para con sus cuatro desgraciados y difuntos colegas.

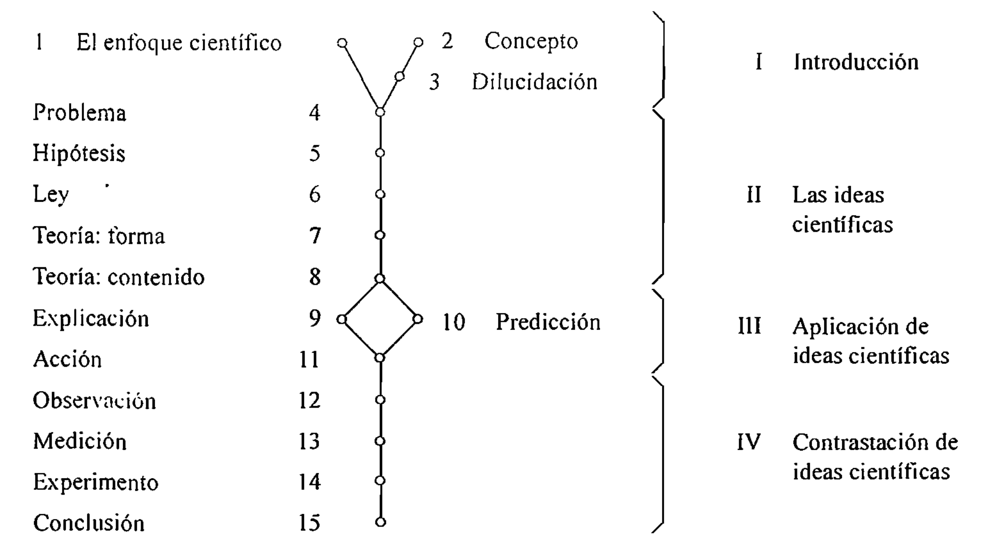
Todo esto explicará al lector por qué el quinto informe acerca de la Cosa Rara aparece con un título distinto y bajo otro nombre de autor. Esperemos que este expediente salve a Pentós de la ira de los celosos seguidores de credos sencillos.[1]

[1] *Nota añadida en pruebas.* Los cuatro Sabios del Reino * siguen vivos. Protos y Deúteros sobrevivieron porque el verdugo no encontró en ellos cabeza que cortar. Tritos, porque tras la ejecución consiguió que le creciera un nuevo cráneo por convención. Tétartos, porque se inventó un cerebro nuevo en cuanto le refutaron el que tenía.

CÓMO USAR ESTE LIBRO

Este tratado de metodología y filosofía de la ciencia se divide en cuatro partes. La parte I, *Enfoque y herramientas,* ofrece una ojeada general del esquema de la ciencia (capítulo 1) y algunos instrumentos lógicos y semánticos (capítulos 2 y 3) que se necesitarán más adelante. La exposición de la investigación científica propiamente dicha empieza en la parte II, sobre *Las ideas científicas*. En el principio fue el Problema, tema estudiado en el capítulo 4. Luego se considera el intento de solución a un problema científico, o sea, la hipótesis (capítulo 5). A continuación se considera la hipótesis en cuanto se la supone reproducción de una estructura objetiva, esto es, la ley científica (capítulo 6). La construcción y el reajuste de sistemas de hipótesis y leyes –o sea, de teorías– se examinan en los capítulos 7 (subrayando el aspecto formal) y 8 (subrayando el aspecto de contenido). Luego viene la parte III, *La aplicación de las ideas científicas.* El capítulo 9 trata de la aplicación de las teorías a la explicación, y el capítulo 10 de su aplicación a la predicción y a la retrodicción. El capítulo 11, sobre la acción racional, pertenece a la filosofía de la tecnología. Por último, la parte IV, *La contrastación de las ideas científicas,* empieza estudiando la observación (capítulo 12), y luego pasa a estudiar la medición (capítulo 13) y el experimento (capítulo 14). La parte IV termina con el estudio del paso de las conclusiones obtenidas de los datos a las hipótesis y viceversa (capítulo 15).

Un vistazo a las relaciones lógicas entre los capítulos puede ser de utilidad al lector para el uso del libro y para la comprensión de la filosofía de la ciencia que se propone en el mismo (véase el esquema siguiente).



Los párrafos entre asteriscos pueden omitirse en una primera lectura.

Lo que, en cambio, no debe omitirse son los problemas formulados al final de cada sección. La finalidad de éstos es triple: comprobar la comprensión del texto por el lector, resquebrajar su fe en él y moverle a seguir pensando por sí mismo en el tema. Hay más de mil preguntas o dificultades de este tipo. Cada conjunto de problemas ha sido ordenado a grandes rasgos por orden creciente de dificultad: los primeros de cada conjunto son corrientemente ejercicios, mientras que algunos de los últimos son ya problemas de investigación. Al distribuir esos problemas el director del estudio debe precisar y tener presente el conocimiento previo que requieran en cada caso.

Las discusiones con colegas teóricos de la ciencia o estudiosos de cuestiones metacientíficas se han evitado por lo común en el texto y se han remitido a los problemas. También las referencias bibliográficas se han relegado a los problemas y a las listas dadas al final de cada capítulo. Como consecuencia de ello, cada sección ofrece la posibilidad de una lectura seguida sin interrupciones.

El libro ha sido preparado tanto para lectura individual cuanto para usarlo en cursos de Método Científico y Filosofía de la Ciencia. Como el texto oscila constantemente entre un nivel de introducción y otro ya más elevado, puede adaptarse para usos bastante diversos. Por ejemplo, puede usarse como sustituto de lecciones "magistrales", las cuales, realmente, parecen algo anacrónicas desde Gutenberg. Seguramente será más interesante y fructífera una libre discusión del texto y de algunos problemas, así como de los resultados de una exploración de la bibliografía aconsejada.

Una última advertencia: todo libro que trate nuestro tema tiende a dirigir molestas exigencias a su lector, al que se pide que navegue constantemente entre la Escila de la ciencia y la Caribdis de la filosofía. El autor simpatiza con el navegante, pero no tiene mucho que ofrecerle para evitarle esa incomodidad; lo más que puede hacer es enunciar el siguiente truismo: el naufragio puede evitarse no navegando o adquiriendo por hábito la habilidad de navegar. Que el presente libro pueda ser un antídoto para los que se marean ante la mera idea de tener que aprender algo, y una modesta guía para los que desean contemplar más de cerca la Cosa Rara. Pero permítaseme recordar que no se pide a ningún guía que haga el camino por nosotros.

Un último consejo: cuando el lector se tope con algún vocablo filosófico o nombre de filósofo que desconozca, hará bien en consultar el excelente *Diccionario de filosofía* de José Ferrater Mora, en cuatro tomos (Madrid, Alianza Editorial, 1979), o el mío propio, *Diccionario de filosofía* (México, Siglo XXI, 2000).

PARTE I

ENFOQUE Y HERRAMIENTAS

Será conveniente empezar con una visión panorámica de los medios y fines peculiares al enfoque científico. Esa visión previa se ofrece en el capítulo 1. Como le ocurre a cualquier exposición breve de un tema rico de contenido, también ésta tendrá que presentarse de un modo bastante dogmático; pero esperamos que el resto del libro la justificará. Luego necesitaremos un puente entre la ciencia y la filosofía: lo encontraremos en los capítulos 2 y 3, que discuten la semántica de los conceptos científicos y la lógica de algunas operaciones conceptuales que no por ser familiares dejan de ser peliagudas, como la clasificación y la definición.

1. EL ENFOQUE CIENTÍFICO

La ciencia es un estilo de pensamiento y de acción: precisamente el más reciente, el más universal y el más provechoso de todos los estilos. Como ante toda creación humana, tenemos que distinguir en la ciencia entre el trabajo –investigación– y su producto final, el conocimiento. En este capítulo consideraremos tanto los esquemas generales de la investigación científica –el método científico– cuanto su objetivo.

1.1. CONOCIMIENTO: ORDINARIO Y CIENTÍFICO

Una investigación científica arranca con la percepción de que el acervo de conocimiento disponible es insuficiente para manejar determinados problemas. No empieza con un borrón y cuenta nueva, porque la investigación se ocupa de problemas, y no es posible formular una pregunta –por no hablar ya de darle respuesta– fuera de algún cuerpo de conocimiento: sólo quienes ven pueden darse cuenta de que falta algo.

Parte del conocimiento previo de que arranca toda investigación es conocimiento ordinario, esto es, conocimiento no especializado, y parte de él es conocimiento científico, o sea, se ha obtenido mediante el método de la ciencia y puede volver a someterse a prueba, enriquecerse y, llegado el caso, superarse mediante el mismo método. A medida que progresa, la investigación corrige o hasta rechaza porciones del acervo del conocimiento ordinario. Así se enriquece este último con los resultados de la ciencia: parte del sentido común de hoy día es resultado de la investigación científica de ayer. La ciencia, en resolución, crece a partir del conocimiento común y le rebasa con su crecimiento: de hecho, la investigación científica empieza en el lugar mismo en que la experiencia y el conocimiento ordinarios dejan de resolver problemas o hasta de plantearlos.

La ciencia no es una mera prolongación ni un simple afinamiento del conocimiento ordinario, en el sentido en que el microscopio, por ejemplo, amplía el ámbito de la visión. La ciencia es un conocimiento de naturaleza especial: trata primariamente, aunque no exclusivamente, de acaecimientos inobservables e insospechados por el lego no educado; tales son, por ejemplo, la evolución de las estrellas y la duplicación de los cromosomas: la ciencia inventa y arriesga conjeturas que van más allá del conocimiento común, tales como las leyes de la mecánica cuántica o las de los reflejos condicionados; y somete esos supuestos a contrastación con la experiencia con ayuda de técnicas especiales, como la espectroscopia o el control del jugo gástrico, técnicas que, a su vez, requieren teorías especiales.

Consiguientemente, el sentido común no puede ser juez autorizado de la ciencia, y el intento de estimar las ideas y los procedimientos científicos a la luz del conocimiento común u ordinario exclusivamente es descabellado: la ciencia elabora sus propios cáno-

nes de validez y, en muchos temas, se encuentra muy lejos del conocimiento común, el cual va convirtiéndose progresivamente en ciencia fósil. Imaginémonos a la mujer de un físico rechazando una nueva teoría de su marido sobre las partículas elementales porque esa teoría no es intuitiva, o a un biólogo que se aferrara a la hipótesis de la naturaleza hereditaria de los caracteres adquiridos simplemente porque esa hipótesis coincide con la experiencia común por lo que hace a la evolución cultural. Parece estar clara la conclusión que deben inferir de todo eso los filósofos: no intentemos reducir la ciencia a conocimiento común, sino aprendamos algo de ciencia antes de filosofar sobre ella.

La discontinuidad radical entre la ciencia y el conocimiento común en numerosos respectos y, particularmente por lo que hace al método, no debe, de todos modos, hacernos ignorar su continuidad en otros respectos, por lo menos si se limita el concepto de conocimiento común a las opiniones sostenidas por lo que se suele llamar sano sentido común o, en otras lenguas, buen sentido. Efectivamente, tanto el sano sentido común cuanto la ciencia aspiran a ser *racionales* y *objetivos*: son críticos y aspiran a coherencia (racionalidad), e intentan adaptarse a los hechos en vez de permitirse especulaciones sin control (objetividad).

Pero el ideal de racionalidad, a saber, la sistematización coherente de enunciados fundados y contrastables, se consigue mediante teorías, y éstas son el núcleo de la ciencia, más que del conocimiento común, acumulación de piezas de información laxamente vinculadas. Y el ideal de la objetividad –a saber, la construcción de imágenes de la realidad que sean verdaderas e impersonales– no puede realizarse más que rebasando los estrechos límites de la vida cotidiana y de la experiencia privada, abandonando el punto de vista antropocéntrico, formulando la hipótesis de la existencia de objetos físicos más allá de nuestras pobres y caóticas impresiones, y contrastando tales supuestos por medio de la experiencia intersubjetiva (transpersonal) planeada e interpretada con la ayuda de teorías. El sentido común no puede conseguir más que una objetividad limitada porque está demasiado estrechamente vinculado a la percepción y a la acción, y cuando las rebasa lo hace a menudo en la forma del mito: sólo la ciencia inventa teorías que, aunque no se limitan a condensar nuestras experiencias, pueden contrastarse con ésta para ser verificadas o falsadas.

Un aspecto de la objetividad que tienen en común el buen sentido y la ciencia es el *naturalismo*, o sea, la negativa a admitir entidades no naturales (por ejemplo, un pensamiento desencarnado) y fuentes o modos de conocimiento no naturales (por ejemplo, la intuición metafísica). Pero el sentido común, reticente como es ante lo inobservable, ha tenido a veces un efecto paralizador de la imaginación científica. La ciencia, por su parte no teme a las entidades inobservables que supone hipotéticamente, siempre que el conjunto hipotético pueda mantenerse bajo su control: la ciencia, en efecto, tiene medios muy peculiares (pero nada esotéricos ni infalibles) para someter a contraste o prueba dichos supuestos.

Una consecuencia de la vigilancia crítica y de la recusación naturalista de los modos de conocimientos esotéricos es el *falibilismo*, o sea, el reconocimiento de que nuestro conocimiento del mundo es provisional e incierto –lo cual no excluye el progreso científico, sino que más bien lo exige. Los enunciados científicos, igual que los de la experiencia común, son opiniones, pero opiniones ilustradas (fundadas y contrastables) en vez de

dicta arbitrarios o charlas insusceptibles de contrastación o prueba. Lo único que puede probarse hasta quedar más allá de toda duda razonable son o bien teoremas de la lógica y la matemática, o bien enunciados fácticos triviales (particulares y de observación) como "este volumen es pesado".

Los enunciados referentes a la experiencia inmediata no son esencialmente incorregibles, pero rara vez resultan dignos de duda: aunque son también conjeturas, en la práctica los manejamos como si fueran certezas. Precisamente por esa razón son científicamente irrelevantes: si puede manejarlos de un modo suficiente el sentido común, ¿por qué apelar a la ciencia? Ésta es la razón por la cual no existe una ciencia de la mecanografía ni de la conducción de automóviles. En cambio, los enunciados que se refieren a algo más que la experiencia inmediata son dudosos y, por tanto, vale la pena someterlos varias veces a contrastación y darles un fundamento. Pero en la ciencia la duda es mucho más creadora que paralizadora: la duda estimula la investigación, la búsqueda de ideas que den razón de los hechos de un modo cada vez más adecuado. Así se produce un abanico de opiniones científicas de desigual peso: unas de ellas están mejor fundadas y más detalladamente contrastadas que otras. Por eso el escéptico tiene razón cuando duda de cualquier cosa en particular, y yerra cuando duda de todo en la misma medida.

Dicho brevemente: las opiniones científicas son racionales y objetivas como las del sano sentido común: pero mucho más que ellas. ¿Y qué es entonces –si algo hay– lo que da a la ciencia su superioridad sobre el conocimiento común? No, ciertamente, la sustancia o tema, puesto que un mismo objeto puede ser considerado de modo no científico, o hasta anticientífico, y según el espíritu de la ciencia. La hipnosis, por ejemplo, puede estudiarse de un modo acientífico, como ocurre cuando se describen casos sin la ayuda de la teoría ni del experimento. También puede considerarse como un hecho super-normal o hasta sobrenatural, que no implica ni a los órganos de los sentidos ni al sistema nervioso, o sea, como resultado de una acción directa de mente a mente. Por último, puede plantearse el estudio de la hipnosis científicamente, esto es, construyendo conjeturas acerca del mecanismo fisiológico subyacente al comportamiento hipnótico y controlando o contrastando dichas hipótesis en el laboratorio. En principio, pues, el objeto o tema no es lo que distingue a la ciencia de la no-ciencia, aunque algunos problemas determinados –por ejemplo, el de la estructura de la materia– difícilmente puedan formularse fuera de un contexto científico.

Si la "sustancia" (objeto) no puede ser lo distintivo de toda ciencia, entonces tienen que serlo la "forma" (el procedimiento) y el objetivo: la peculiaridad de la ciencia tiene que consistir en el modo como opera para alcanzar algún objetivo determinado, o sea, en el método científico y en la finalidad para la cual se aplica dicho método. (Prevención: 'método científico' no debe construirse como nombre de un conjunto de instrucciones mecánicas e infalibles que capacitaran al científico para prescindir de la imaginación; no debe interpretarse tampoco como una técnica especial para el manejo de problemas de cierto tipo). El *enfoque científico,* pues, está constituido por el *método científico* y por el *objetivo* de la ciencia.

Echemos un vistazo al enfoque científico, pero no sin aplicar antes nuestras capacidades a alguno de los siguientes problemas.

Problemas

1.1.1. Escritores y humanistas se lamentan con cierta frecuencia de que la ciencia deshumaniza porque elimina los elementos llamados humanos. Examínese esta opinión.

1.1.2. ¿Es la ciencia objetiva hasta el punto de excluir puntos de vista? ¿O más bien se limita a no autorizar sino la consideración de puntos de vista que estén fundados de alguna manera y sean contrastables, sometibles a prueba? Puede verse una reciente crítica del "mito" según el cual la ciencia es objetiva en R. Rorty, *Objectivity, Relativism, and Truth* (Cambridge, Cambridge University Press, 1991). Para un contra-ataque, véase N. Rescher, *Objectivity* (Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1997). Indicación: téngase clara la distinción entre la psicología de la investigación –que se ocupa de los motivos, las tendencias, etc., de cada investigador– y la metodología de la investigación. Cf. K. R. Popper, *The Open Society and its Enemies,* 4a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1962, cap. 23.

1.1.3. Examínese la difundida opinión, sostenida por filósofos como Karl Jaspers, de que las conclusiones de la investigación científica son conclusiones propiamente dichas, esto es, últimas y ciertas. *Problema estudiable en vez de ése*: esbócese la historia de la opinión de que la ciencia genuina es infalible.

1.1.4. Dilucidar los conceptos de *opinión, creencia, convicción y conocimiento. Problema en vez del anterior*: ¿Existe alguna relación lógica entre *naturalismo* (que es una doctrina ontológica) y *contrastabilidad* (que es una propiedad metodológica de ciertos enunciados, la propiedad de poder ser sometidos a prueba)? En particular: ¿es el naturalismo condición necesaria, suficiente, necesaria y suficiente o ninguna de esas cosas para la contrastabilidad? Indicaciones: Distíngase entre contrastabilidad de principio (contrastación concebible) y contrastabilidad efectiva (la propiedad que tiene un enunciado de ser susceptible de contrastación con los medios existentes); búsquense contraejemplos para las primeras tres tesis, o sea: "$C \rightarrow N$", "$N \rightarrow C$" y "$N \leftrightarrow C$".

1.1.5. La filosofía tradicional ha conservado la importante distinción establecida por Platón (*Menón, 97; República, V, 477, 478; Timeo,* 29, etc.) entre opinión o creencia (*dóxa*) y conocimiento cierto o ciencia (*epistéme*). Según Platón, la opinión es característica del vulgo, por lo que hace a todo tema, pero es, además, lo único que puede conseguirse respecto de las cosas fugaces (los objetos físicos), que no *son* en un sentido completo, puesto que nacen, cambian y perecen; sólo los objetos eternos (las ideas) pueden ser objeto de conocimiento perfecto. Discútase esta opinión, precisando su pertinencia si la tiene, para la ciencia formal y la ciencia factual.

1.1.6. Explicitar las semejanzas y las diferencias entre el conocimiento común y el conocimiento científico. *Problema en lugar de ése*: Dado que el pensamiento científico es innatural, o sea, se consigue con dificultad y sólo por una parte de la humanidad, imagínese lo que sería de la investigación científica después de que una guerra nuclear hubiera destruido todos los centros científicos.

1.1.7. Discútase la opinión según la cual la ciencia no es más que una continuación sistemática del conocimiento ordinario. Para información sobre dicho punto de vista véase, por ejemplo, R. Carnap, "Logical Foundations of the Unity of Science", en *International Encyclopedia of Unified Science,* Chicago, University of Chicago Press, 1938, I, p. 45, y A. J. Ayer, *Language, Truth, and Logic,* 2a. ed., Londres, Gollancz, 1953, p. 49.

1.1.8. Filósofos de varias corrientes, desde ciertos escolásticos medievales, pasando por los realistas escoceses del sentido común, hasta el filósofo del lenguaje, G. E. Moore, han reivindicado para el sentido común el derecho a estimar las teorías científicas. Análogamente, algunos científicos han combatido la genética, la física relativista y las teorías cuánticas por chocar con el sentido común. Discútase este fenómeno. *Problema en lugar del anterior*: la libertad de opinión incluye el derecho de cada cual a criticar y hasta ridiculizar lo que sea. Pero la libertad de la investigación

–que está asociada a la de opinión– puede ser obstaculizada por una opinión pública que le sea hostil. ¿Puede resolverse este problema?

1.1.9. Ludwig Wittgenstein y los filósofos del Círculo de Viena han sostenido que el criterio de distinción entre ciencia y no-ciencia (especialmente la metafísica) es el *tener-sentido* de los enunciados que constituyen la ciencia. Según esto, un análisis del sentido bastaría para decidir si una disciplina es científica o no. Examínese esa opinión y véase si no asciende a ciencia el arte de la encuadernación de libros o la contabilidad. Propónganse criterios propios de distinción entre ciencia y no-ciencia.

1.1.10. G. W. F. Hegel y otros filósofos han sostenido que toda ciencia, excepto la filosofía, tiene la ventaja de poder presuponer o bien su objeto o bien la marcha ulterior de la investigación. ¿Es verdad que estén dados por anticipado el objeto y el método especial de toda ciencia? Sugerencia: búsquense contraejemplos (excepciones).

1.2. EL MÉTODO CIENTÍFICO

Un método es un procedimiento para tratar un conjunto de problemas. Cada clase de problemas requiere un conjunto de métodos o técnicas especiales. Los problemas del conocimiento, a diferencia de los del lenguaje o los de la acción, requieren la invención o la aplicación de procedimientos especiales adecuados para los varios estadios del tratamiento de los problemas, desde el mero enunciado de éstos hasta el control de las soluciones propuestas. Ejemplos de tales *métodos especiales* (o *técnicas especiales*) de la ciencia son la triangulación (para la medición de grandes distancias) o el registro y análisis de radiaciones cerebrales (para la objetivación de estados del cerebro).

Cada método especial de la ciencia es, pues, relevante para algún estadio particular de la investigación científica de problemas de cierto tipo. En cambio, el *método general* de la ciencia es un procedimiento que se aplica al ciclo entero de la investigación en el marco de cada problema de conocimiento. Lo mejor para darse cuenta de cómo funciona el método científico consiste en emprender, con actitud inquisitiva, alguna investigación científica lo suficientemente amplia como para que los métodos o las técnicas especiales no oscurezcan la estructura general. (El convertirse en especialista de algún estadio del trabajo científico, como la medición, por ejemplo, no basta, ni mucho menos, para conseguir una visión clara del método científico; aún más, eso puede sugerir la idea de que hay una pluralidad de métodos inconexos más que una sola estructura metódica subyacente a todas las técnicas.) Otro buen camino, inmediatamente después del anterior, consiste en familiarizarse con algún sector o pieza de la investigación, no precisa y solamente con su resultado, más o menos caduco, sino con el proceso entero, a partir de las cuestiones que desencadenaron inicialmente la investigación.

Supongamos que nos planteamos la pregunta siguiente: "¿Por qué diversos grupos humanos utilizan lenguajes más o menos diferentes?" Una respuesta sencilla a esa pregunta –esto es, una explicación de la generalización empírica según la cual diversos grupos humanos tienden a hablar de modos diversos– se encuentra en mitos como, por ejemplo, el de la diversidad originaria de lenguas ya cristalizadas desde el principio. Un investigador científico de ese problema no prestaría gran fe a explicaciones sencillas de

ese tipo, y empezaría por examinar críticamente el problema mismo. De hecho, aquella pregunta presupone una generalización empírica que puede necesitar afinación: ¿Qué grupos son los que hablan de modos diversos? ¿Grupos étnicos, grupos sociales, grupos profesionales? Sólo una investigación preliminar de esta cuestión previa puede permitirnos una formulación más precisa de nuestro primer problema.

Una vez hallado ese enunciado más preciso del problema, se ofrecerá una serie de conjeturas: algunas referentes a la determinación geográfica de las diferencias lingüísticas, otras a los factores biológicos, otras a los factores sociales, etc. Esos varios supuestos serán entonces contrastados examinando sus consecuencias observables. Así, por ejemplo, si el tipo de trabajo es efectivamente un determinante principal de las diferencias lingüísticas (hipótesis), entonces los grupos profesionales compuestos por individuos que en todo lo demás son semejantes deben hablar dialectos distintivos (consecuencia sometible a contrastación con la experiencia).

Entonces hay que reunir cierto número de datos para poder averiguar cuál de las conjeturas es verdadera –si es que alguna de ellas lo es. Y, si es posible, los datos tendrán que ser científicamente certificables, esto es, obtenidos y controlados si es necesario por medios científicos. Por ejemplo: habrá que estudiar muestras casuales de grupos profesionales, con objeto de minimizar los efectos de una posible tendencia en la elección de los sujetos. Entonces se estimarán los méritos de las varias hipótesis propuestas, y en ese proceso de estimación surgirán acaso nuevas conjeturas.

Por último, si la investigación ha sido cuidadosa e imaginativa, la solución del problema inicial hará surgir un nuevo conjunto de otros problemas. De hecho, las piezas de investigación más importantes, al igual que los mejores libros, son las más capaces de desencadenar nuevo pensamiento, y no precisamente las tendentes a llevar el pensamiento al reposo.

En el anterior ejemplo podemos distinguir los estadios principales del camino de la investigación científica, esto es, los pasos principales de la aplicación del método científico. Distinguimos, efectivamente, la siguiente serie ordenada de operaciones:

1. *Enunciar preguntas bien formuladas y verosímilmente fecundas.*

2. *Arbitrar conjeturas, fundadas y contrastables con la experiencia, para contestar a las preguntas.*

3. *Derivar consecuencias lógicas de las conjeturas.*

4. *Arbitrar técnicas para someter las conjeturas a contrastación.*

5. *Someter a su vez a contrastación esas técnicas para comprobar su relevancia y la fe que merecen.*

6. *Llevar a cabo la contrastación e interpretar sus resultados.*

7. *Estimar la pretensión de verdad de las conjeturas y la fidelidad de las técnicas.*

8. *Determinar los dominios en los cuales valen las conjeturas y las técnicas, y formular los nuevos problemas originados por la investigación.*

Este ciclo se representa esquemáticamente en la figura 1.1.

¿Existen reglas que guíen la ejecución adecuada de las operaciones que hemos indicado? O sea: ¿hay instrucciones concretas para tratar los problemas científicos? Seguramente hay algunas, aunque nadie ha establecido nunca una lista que las agote y aunque todo el mundo deba resistirse a hacerlo, escarmentado por el fracaso de los filósofos que,

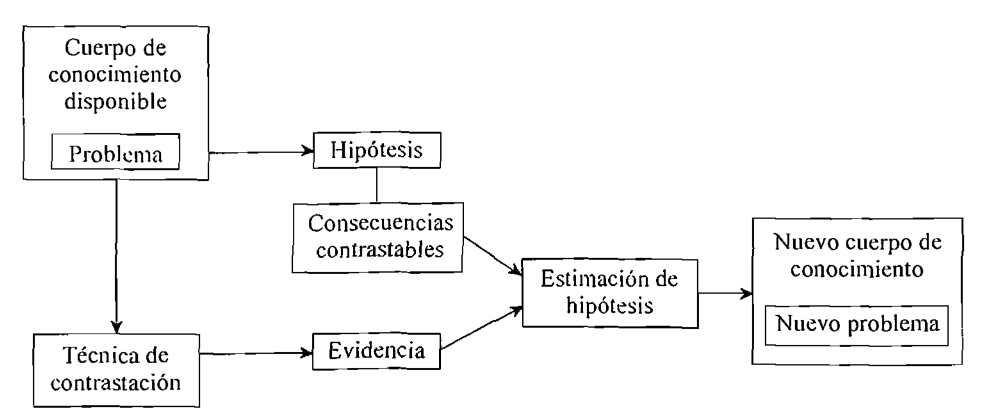


FIGURA 1.1. Un ciclo de investigación. La importancia de la investigación científica se mide por los cambios que acarrea en nuestro cuerpo de conocimientos y/o por los nuevos problemas que suscita.

desde Bacon y Descartes, han pretendido conocer las reglas infalibles de la dirección de la investigación. Pero, a título de mera ilustración, vamos a enunciar y ejemplificar algunas reglas muy obvias del método científico; otras reglas se encontrarán dispersas por el resto del volumen.

R1 Formular el problema con precisión y, al principio, específicamente. Por ejemplo, no preguntar genéricamente "¿Qué es el aprendizaje?", sino plantear una cuestión bien determinada, tal como: "¿Cómo aprenden los ratones albinos a solucionar problemas de laberintos? ¿Gradualmente o por pequeños saltos?"

R2 Proponer conjeturas bien precisas y fundadas de algún modo, y no suposiciones que no comprometan en concreto, ni tampoco ocurrencias sin fundamento visible: hay que arriesgar hipótesis que afirmen la existencia de relaciones bien definidas y entre variables netamente determinadas, sin que esas hipótesis estén en conflicto con lo principal de nuestra herencia científica. Por ejemplo: no hay que contentarse con suponer que es posible el aprendizaje con sólo proponer al animal experimental un único ensayo o intento; mejor es suponer con precisión, por ejemplo, que el aprendizaje por un solo intento, tratándose de orientación en un laberinto en forma de T, tiene tal o cual determinada probabilidad.

R3 Someter las hipótesis a contrastación dura, no laxa. Por ejemplo, al someter a contrastación la hipótesis sobre el aprendizaje con un solo intento, no se debe proponer al animal sujeto alguna tarea para la cual ya esté previamente preparado, ni tampoco se deben pasar por alto los resultados negativos: hay que proponer al sujeto experimental tareas completamente nuevas, y hay que aceptar toda la evidencia negativa.

R4 No declarar verdadera una hipótesis satisfactoriamente confirmada; considerarla, en el mejor de los casos, como parcialmente verdadera. Por ejemplo, si se ha obtenido una generalización empírica relativa a las probabilidades de aprendizaje de una determinada tarea con un solo ensayo, con otro ensayo, y así sucesivamente, hay que seguir considerando la afirmación como corregible por la investigación posterior.

R5 Preguntarse por qué la respuesta es como es, y no de otra manera: no limitarse a

hallar generalizaciones que se adecuen a los datos, sino intentar explicarlas a base de leyes más fuertes. Por ejemplo, plantearse el problema de hallar los mecanismos nerviosos que den razón del aprendizaje a la primera presentación de la tarea al sujeto: esto supondrá complementar la investigación conductista que se estaba realizando con una investigación biológica.

Esas y otras reglas del método científico están muy lejos de ser infalibles y de no necesitar ulterior perfeccionamiento: han ido cristalizando a lo largo de la investigación científica y son –esperémoslo– aún perfectibles. Además, no debemos esperar que las reglas del método científico puedan sustituir a la inteligencia por un mero paciente adiestramiento. La capacidad de formular preguntas sutiles y fecundas, la de construir teorías fuertes y profundas y la de arbitrar contrastaciones empíricas finas y originales no son actividades orientadas por reglas: si lo fueran, como han supuesto algunos filósofos, todo el mundo podría llevar a cabo con éxito investigaciones científicas, y las máquinas de calcular podrían convertirse en investigadores, en vez de limitarse a ser lo que son, instrumentos de la investigación. La metodología científica es capaz de dar indicaciones y suministra de hecho medios para evitar errores, pero no puede suplantar a la creación original, ni siquiera ahorrarnos todos los errores.

Las reglas del correcto comportamiento en la mesa son más o menos convencionales y locales; consecuentemente, sería difícil confirmarlas o refutarlas de un modo objetivo, aunque sin duda son explicables por causas sociales e históricas. Pero, ¿qué decir del comportamiento investigador, esto es, de las reglas de la investigación científica? Esas reglas son claramente universales: no hay efectivamente nada tan universal como la ciencia, ni siquiera la filosofía. Pero ¿son además justificables? Sin duda tienen una *justificación pragmática*: aunque no son infalibles, no conocemos otras reglas que sean más adecuadas para conseguir la meta de la ciencia: la construcción de los modelos conceptuales de las pautas de las cosas con la mayor verdad posible.

Pero ésa es sin duda una justificación bastante pobre. En primer lugar, porque la aplicación del método científico no da, en el mejor de los casos, sino aproximaciones a la verdad. En segundo lugar, porque una regla que está justificada así por su éxito, pero no está integrada en el cuerpo del conocimiento científico, queda como colgada en el aire, y no puede deshacer concluyentemente la pretensión de los procedimientos no-científicos –como la adivinación, por ejemplo– para el progreso del conocimiento. Dicho de otro modo: nos gustaría contar con una justificación teórica del método científico, además de con su justificación pragmática. Entenderemos por *justificación teórica* de una regla (o norma, prescripción o instrucción): (*i*) la convalidación de los presupuestos de la regla, o sea la confirmación de que lo que la regla toma como dado es coherente con las leyes conocidas; y (*ii*) la comprobación de que la regla dada es compatible con los demás miembros del conjunto de reglas, en este caso, con el método científico. Dicho brevemente: consideraremos que una regla está justificada teóricamente si y sólo si es a la vez *fundada* y *sistemática* (sistemática = miembro de un sistema consistente de reglas).

En el caso de las reglas del método científico deseamos que integren un sistema de normas basado en, o, al menos, compatible con, las leyes de la lógica y las leyes de la ciencia, no sólo con los desiderata de la investigación. Así, la regla que manda "formular

el problema con precisión" presupone claramente que no hay que buscar más que respuestas únicas (aunque puedan ser complejas, tener varios miembros): si fuera aceptable una pluralidad de supuestos recíprocamente incompatibles, no se habría estipulado la condición de precisión del problema. Por su parte, el desiderátum de la solución única está exigido por el principio lógico de no-contradicción. En este punto puede detenerse la tarea de justificación de esa regla, porque la investigación científica presupone los principios de la lógica, no los discute. (Cf. sec. 5.9.)

La justificación de otras reglas del método científico será más difícil y puede suponer complicados problemas filosóficos –como el de si el análisis científico de un todo lo disuelve sin aclararlo–, pero, de un modo u otro, hay que suministrar esa justificación, y el trabajo al respecto promete ser de interés. Desgraciadamente, no se ha intentado aún dar una justificación teorética de las reglas del método científico. La metodología científica sigue encontrándose en un estadio descriptivo, preteorético. Muy responsable de este descuido parece ser el tácito supuesto de que todo lo que da resultado es bueno, curiosa suposición en el caso del método científico, del que empieza por admitirse que no da resultados perfectos. En cualquier caso, éste es un problema interesantísimo para los filósofos que se preocupan por la ciencia viva.

Los científicos no se han preocupado mucho por la fundamentación ni por la sistematicidad de las reglas del procedimiento científico: ni siquiera se preocupan por enunciar explícitamente todas las reglas que usan. De hecho, las discusiones de metodología científica no parecen ser animadas más que en los comienzos de cada ciencia: por lo menos, tal fue el caso de la astronomía en tiempos de Ptolomeo, de la física en los de Galileo, y hoy de la psicología y la sociología. En la mayoría de los casos los científicos adoptan una actitud de ensayo y error respecto de las reglas de la investigación, y las que les resultan eficaces se incluyen sin más en la rutina cotidiana de la investigación, tan implícitamente que la mayoría de los científicos ni las registran conscientemente. Nadie, por lo visto, llega a ser consciente en cuestiones metodológicas hasta que el método dominante en el momento resulta fracasar.

El método científico y la finalidad a la cual se aplica (conocimiento objetivo del mundo) constituyen la entera diferencia que existe entre la ciencia y la no-ciencia. Además, tanto el método como el objetivo son de interés filosófico: por tanto, resulta injustificable el pasarlos por alto. Con esto no se trata de ignorar que una metodología tacita, pero sana, es mejor que una metodología explícita y mala. Hay que subrayar esto en unos tiempos como los nuestros, en los que las revistas de psicología y de sociología dedican muchísimo espacio a discusiones metodológicas que en el fondo se proponen hallar el mejor procedimiento para paralizar la investigación prohibiendo el uso de conceptos que no se apliquen directamente a rasgos observables. Frente a prescripciones metodológicas tan dogmáticas y estériles (y teóricamente injustificadas), lo mejor es tener presente la que acaso sea la única regla de oro del trabajo científico: *Audacia en el conjeturar, rigurosa prudencia en el someter a contrastación las conjeturas.*

Resumamos. El método científico es un rasgo característico de la ciencia, tanto de la pura como de la aplicada: donde no hay método científico no hay ciencia. Pero no es ni infalible ni autosuficiente. El método científico es falible: puede perfeccionarse mediante la estimación de los resultados a los que lleva y mediante el análisis directo. Tampoco

es autosuficiente: no puede operar en un vacío de conocimiento, sino que requiere algún conocimiento previo que pueda luego reajustarse y elaborarse; y tiene que complementarse mediante métodos especiales adaptados a las peculiaridades de cada tema. Ahora vamos a atender a esas técnicas.

Problemas

1.2.1. Comentar la siguiente caracterización del método (en general) dada por la famosa *Lógica* de Port Royal (1662), en *Grammaire générale* [de Port Royal], París, Delalain, 1830, p. 524: "En general podemos llamar método al arte de disponer la sucesión de los pensamientos ya para descubrir la verdad que ignoramos, ya para probarla a otros cuando la conocemos." El arte del descubrimiento de la verdad se describía como *análisis*, o *método de resolución*; y el arte de mostrar la verdad a los demás se describía como síntesis, o método de composición. *Problema en lugar de ése*: ¿Por qué a comienzos de la era moderna se buscó tan insistentemente un nuevo método para el descubrimiento de la verdad? ¿Tuvieron éxito las nuevas propuestas (como la recolección de datos aconsejada por Bacon y la deducción, propuesta por Descartes, a partir de principios *a priori* claros y distintos)?

1.2.2. Examinar la caracterización general del método dada por H. Mehlberg, *The Reach of Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1958, p. 67: "Un método es la enunciación de un conjunto de enunciados que describen una secuencia repetible de *operaciones*, tal que toda secuencia particular de operaciones así descrita puede permitir a todo individuo o grupo humano producir, infaliblemente o en una apreciable proporción de casos, un hecho repetible llamado el *objetivo* del método [...] Si el objetivo del método es siempre un hecho que ocurre en algún objeto individual, se dice que el método es *aplicado a ese objeto*. Así, para clavar un clavo en un trozo de madera, se puede golpear la cabeza del clavo con un martillo varias veces sucesivas. El método consiste, pues, en una secuencia repetible de golpes ejecutados con el martillo de un modo que se especifica: el objetivo del método es la introducción de un clavo en un trozo de madera; el objeto del método es cualquier sistema compuesto por un clavo y un trozo de madera." ¿Puede decirse todo eso del método de la ciencia?

1.2.3. Comentar la caracterización –por J. Dewey– del método científico como "un método para alterar las creencias de los hombres por medio de la investigación contrastada y por medio de la consecución de creencias". Cf. "A Common Faith", en D. Bronstein, Y. H. Krikorian y P. Wiener (eds.), *Basic Problems of Philosophy*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, Inc., 1955, p. 447.

1.2.4. ¿Es propiamente un método el procedimiento que suele llamarse de "ensayo y error"? Distíngase claramente entre la clase de procedimientos por ensayo y error, planteamientos de sí o no respecto de la presencia de un hecho, y el examen metódico de posibilidades (por ejemplo, de hipótesis).

1.2.5. Determinar cuál de las actividades siguientes y disciplinas utilizan el método de la ciencia (si lo emplea alguna): la espeleología (exploración y descripción de simas), la observación y descripción de astros, la observación y descripción de aves, la organización de colecciones de plantas y animales, su distribución en jaulas, el diagnóstico de la personalidad mediante técnicas que carezcan de justificación pragmática y/o teorética, la programación y la operación de las calculadoras.

1.2.6. Analizar y ejemplificar los varios estadios del procedimiento de un médico de medicina general ante un paciente.

1.2.7. ¿Está teoréticamente justificado el sacrificio como método para producir lluvia o para aprobar los exámenes?

1.2.8. Examinar el método empleado por A. M. Ampère para establecer su ley de acción mutua de las corrientes eléctricas. Cf. su memoria del 10 de junio de 1822 en *Mémoires sur l'électromagnétisme et l'électrodynamique,* París, Gauthier-Villars, s. a., especialmente pp. 76-77. *Problema en lugar de ése*: estudiar la posibilidad de hallar una metodología general (praxiología) que se aplicara a todo tipo de trabajo, ya fuera intelectual, ya físico. Cf. Kotarbinski, "De la notion de méthode", en *Revue de métaphysique et de morale,* 62, 187, 1957.

1.2.9. Hasta hace muy poco, todo el mundo consideraba como indiscutible que la regla principal del método científico era la siguiente: "Las variables relevantes deben modificarse una a la vez." Se suponía que sólo de este modo era posible un control efectivo de los diversos factores que intervienen en un problema. Pero en la cuarta década de este siglo quedó claro finalmente que nunca tenemos un conocimiento completo de todas las variables relevantes, y que, aunque lo tuviéramos, no podríamos alterar una en un momento dado, congelando al mismo tiempo, por así decirlo, todas las demás, pues hay entre algunas de ellas relaciones constantes (leyes). Se planearon, consiguientemente, experimentos que suponían cambios simultáneos de los valores de cierto número de variables (posiblemente, en interacción), y a esto se llamó esquema factorial. Cf. R. A. Fisher, *The Design of Experiments,* 6a. ed., Londres, Oliver and Boyd, 1951. Inferir alguna consecuencia acerca de la mutabilidad del método científico.

1.2.10. Examinar si los siguientes procedimientos se utilizan en la ciencia y, caso afirmativo, en qué medida: 1. Los varios métodos de deducción. 2. La inducción. 3. El método hipotético-deductivo, o sea, el procedimiento que consiste en establecer hipótesis y explicitar sus consecuencias lógicas. 4. La duda metódica de Descartes (que debe distinguirse de la duda sistemática de los escépticos). 5. El método fenomenológico de Husserl. 6. El método dialéctico de Hegel. 7. La comprensión empática o vivencial *(Verstehen)* de Dilthey.

1.3. LA TÁCTICA CIENTÍFICA

El método científico es la estrategia de la investigación científica: afecta a todo ciclo completo de investigación y es independiente del tema en estudio (cf. 1.2). Pero, por otro lado, la ejecución concreta de cada una de esas operaciones estratégicas dependerá del tema en estudio y del estado de nuestro conocimiento respecto de dicho tema. Así, por ejemplo, la determinación de la solubilidad de una determinada sustancia en el agua exige una técnica esencialmente diversa de la que se necesita para descubrir el grado de afinidad entre dos especies biológicas. Y la resolución efectiva del primer problema dependerá del estado en que se encuentre la teoría de las soluciones, igual que la resolución del segundo dependerá del estado en que se encuentren la teoría de la evolución, la ecología, la serología y otras disciplinas biológicas.

Cada rama de la ciencia se caracteriza por un conjunto abierto (y en expansión) de problemas que se plantea con un conjunto de tácticas o técnicas. Estas técnicas cambian mucho más rápidamente que el método general de la ciencia. Además, no pueden siempre trasladarse a otros campos: así, por ejemplo, los instrumentos que utiliza el historiador para contrastar la autenticidad de un documento no tienen utilidad alguna para el físico. Pero ambos, el historiador y el físico, están persiguiendo la verdad y buscándola de acuerdo con una sola estrategia: el método científico.

Dicho de otro modo: no hay diferencia de estrategia entre las ciencias; las ciencias

especiales difieren sólo por las tácticas que usan para la resolución de sus problemas particulares; pero todas comparten el método científico. Esto, más que ser una comprobación empírica, se sigue de la siguiente *Definición:* Una ciencia es una disciplina que utiliza el método científico con la finalidad de hallar estructuras generales (leyes).

Las disciplinas que no pueden utilizar el método científico –por ejemplo, por limitarse a la consecución de datos– no son ciencias, aunque puedan suministrar a la ciencia material en bruto; tal es el caso de la geografía. Ni tampoco son ciencias las doctrinas y prácticas que, como el psicoanálisis, se niegan a utilizar el método científico (cf. 1.6).

Las técnicas científicas pueden clasificarse en *conceptuales* y *empíricas*. Entre las primeras podemos mencionar las tácticas que permiten enunciar de un modo preciso problemas y conjeturas de cierto tipo, así como los procedimientos (algoritmos) para deducir consecuencias a partir de las hipótesis y para comprobar si la hipótesis propuesta resuelve los problemas correspondientes. (La matemática, como es obvio, suministra el conjunto mas rico de tácticas potentes para enunciar problemas e hipótesis de un modo preciso, para deducir consecuencias a partir de los supuestos y para someter las soluciones a prueba o contrastación. Pero no da ayuda alguna en la tarea de hallar problemas o de imaginar el núcleo de hipótesis nuevas para las ciencias factuales. Aparte de eso, en las ciencias más atrasadas nuestras ideas no son aún lo suficientemente claras para ser susceptibles de traducción matemática. Por lo demás, no hay limitación de principio a la aplicación de los conceptos, las teorías y las técnicas de la matemática en la ciencia factual (cf. sec. 8.2). Por lo que hace a las técnicas empíricas, podemos recordar las que sirven para arbitrar experimentos, para llevar a cabo mediciones, y la construcción de instrumentos para registrar y elaborar los datos. El dominio de la mayor parte de esas técnicas es una cuestión de adiestramiento: el talento hace falta para aplicar técnicas conocidas a problemas de tipo nuevo, para criticar las técnicas conocidas y, particularmente, para inventar otras mejores.

Algunas técnicas, aunque no son tan universales como el método general de la ciencia, son aplicables a cierto número de campos diversos. Consideremos ahora tres de esas técnicas casi-universales: el cuestionario ramificado, la iteración y el muestreo. Todas ellas tienen antecedentes en la vida ordinaria y son, por ello, fácilmente comprensibles.

El *cuestionario ramificado* consiste en contemplar el conjunto de posibilidades (lógicas o físicas, según el caso) y dividirlas paso a paso en subconjuntos recíprocamente disyuntos hasta que el subconjunto (o el elemento) deseado se alcanza en algún paso. Supongamos que el problema consiste en averiguar cuál de ocho objetos tiene una propiedad determinada –por ejemplo, cuál de las ocho primeras cifras es aquella en la que está pensando nuestro compañero de juego, o cuál es más probable de entre ocho hipótesis: si procedemos de un modo errático, o sea, por ensayo y error, necesitaremos un máximo de siete operaciones (preguntas). Si utilizamos un cuestionario ramificado podemos, en cambio, proceder del modo siguiente. Dividimos el campo de posibilidades (ocho objetos) en dos partes iguales, y preguntamos si el objeto buscado se encuentra en el primer subconjunto. Como se trata de un problema de decisión (un problema de sí o no), la contestación a esta sola pregunta bastará para reducir a la mitad nuestra incertidumbre inicial. Repetimos entonces la operación hasta eliminar totalmente la incertidumbre inicial. Tres preguntas bastarán para resolver nuestro problema, como se muestra en la fig. 1.2.

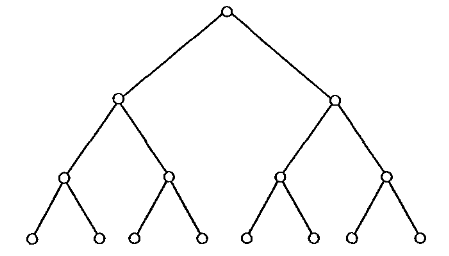


FIGURA. 1.2. Aplicación de un cuestionario ramificado, a la manera del Árbol de Porfirio, para un conjunto inicial de 8 objetos: subdivisión ordenada en alternativas recíprocamente excluyentes.

El cuestionar ramificado es pues la *metodización del procedimiento por ensayo y error*, que lo diferencia ya bastante del ciego procedimiento del sí-o-no aplicado sin sistema. *En general, para un conjunto de N objetos, un cuestionario al azar requiere un máximo de $N-1$ preguntas y necesita un promedio de $N/2$ preguntas. El cuestionario ramificado, en cambio, requiere un máximo de $H = \log_2 N$ elementos de información. En nuestro caso, $\log_2 8 = \log_2 2^3 = 3$.*

Procedimientos iterativos. Éstos son ensayos realizados paso a paso con los que se obtiene un progresivo perfeccionamiento de una solución aproximada: cada solución se basa en (es una función de) la solución precedente y es mejor (más precisa) que ella. Muchas veces el punto de partida tiene que ser meramente conjeturado, con objeto de poder empezar. Cuando no hay método disponible para hallar una tal primera y grosera solución (de aproximación cero), harán falta experiencia, perseverancia y penetración –sin que sobre un poco de buena suerte. Un ejemplo corriente de procedimiento iterativo es el tiro al blanco. La información acerca de la desviación cometida se retrotrasmite al tirador, y ella le permite corregir la puntería en pasos sucesivos, hasta alcanzar el blanco. En este proceso, los errores, en vez de acumularse, se utilizan para mejorar el rendimiento. Así pues, los procedimientos iterativos *se perfeccionan a sí mismos*: pueden aplicarse hasta cualquier grado de precisión que se desee, esto es, hasta que sea despreciable la diferencia entre dos soluciones sucesivas.

*La matemática cuenta con procedimientos iterativos *exactos*, esto es, con técnicas que garantizan un aumento *uniforme* de la precisión; ejemplos famosos son el Método de Newton para el cálculo de las raíces cuadradas y el método de Picard para obtener soluciones aproximadas de ecuaciones diferenciales. En todos esos casos se construye una secuencia de aproximaciones basándose en una relación fija entre dos o más miembros de la secuencia, y ésta tiene un límite definido. O sea: los procedimientos iterativos matemáticos son convergentes. Ejemplo: hallar una solución de la ecuación $f(x) = 0$. Datos: f es continua y sus valores en los puntos a y b son de signo contrario. (Cf. fig. 1.3.) Técnica: el *método dicotómico.* Primera conjetura: la función dada tiene valor cero a mitad de camino entre a y b, o sea: $x_1 = (a + b)/2$. Contrastación: calcular $f(x_1)$. Hay dos posibilidades: o bien $f(x_1)$ es cero, en cuyo caso el problema está resuelto, o bien es diferente de cero. En este último caso vuelve a haber dos posibilidades: o bien $f(x_1)$ tiene el mismo signo que $f(a)$, o bien tiene el mismo signo que $f(b)$. Supongamos que la verdad es el primer caso; entonces el cero de la función se encontrará entre x_1 y b. Tómese la conjetura más simple: $x_2 = (x_1 + b)/2$. Si $f(x_2) = 0$, el problema está resuelto. Si no, $f(x_2)$ tendrá

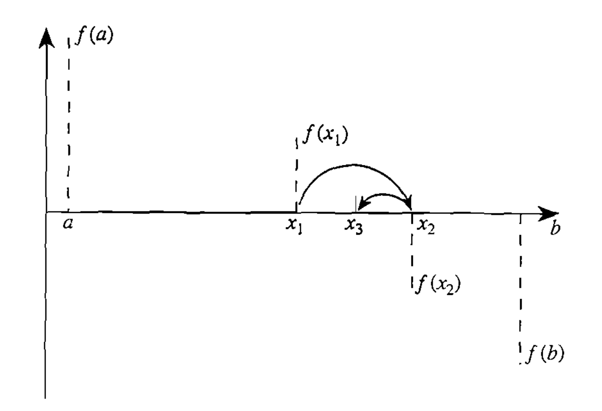


FIGURA. 1.3. Construcción de proposiciones progresivamente verdaderas mediante el método dicotómico. La solución exacta es el límite de la secuencia de soluciones aproximadas.

el signo de $f(b)$ o el signo de $f(x_1)$. Supongamos que ocurre lo primero. Entonces se prueba con $x_3 = (x_1 + x_2)/2$, se calcula $f(x_3)$ y se procede como antes. De este modo se construye una secuencia cada término de la cual es la media de los dos anteriores. O bien uno de los miembros de la secuencia resuelve el problema, o bien la secuencia se aproxima a la solución exacta, esto es, la solución es el límite de la secuencia. En el primer caso se obtiene una solución exacta; en el segundo se obtienen soluciones aproximadas con cualquier grado deseado de aproximación. Obsérvese que los procedimientos iterativos suponen el concepto de *verdad parcial*. Volveremos a tropezar con este concepto en las secs. 10.4 y 15.2.*

Un tercer ejemplo de método especial pero casi-universal de la ciencia es el *muestreo al azar*, esto es, la extracción de un pequeño subconjunto a partir de un conjunto inicial, o población (que puede ser infinita), de tal modo que la selección extraída no dependa de las propiedades de los individuos que la componen, sino que no los tenga en cuenta y sea, por lo tanto, libre de prejuicios o tendencias. Muestreo al azar es, por ejemplo, lo que suponemos hacer cuando tomamos una muestra cualquiera de alguna mercancía, o cuando controlamos la calidad de un producto manufacturado sin examinar todas las unidades producidas. El muestreo se utiliza también cuando se somete una hipótesis a contrastación empírica: sometemos la hipótesis a prueba respecto de un reducido número de datos relevantes para ella y elegidos sin tendencia ni criterio alguno a partir de una infinitud potencial de datos.

El cuestionar ramificado, los procedimientos iterativos y el muestreo al azar son otras tantas especializaciones del *método de aproximaciones sucesivas*, el cual es característico de la ciencia, aunque no exclusivo de ella. En la lógica pura no puede admitirse ese método, porque en ella se buscan soluciones exactas (o demostraciones exactas de la ausencia de tales soluciones). Pero en la ciencia factual y en considerables regiones de la matemática numérica todo lo que podemos conseguir son precisamente *soluciones aproximadas*, por lo que el método de aproximaciones sucesivas es indispensable.

El gran interés del método de aproximaciones sucesivas para la teoría del conocimiento (epistemología) estriba en que constituye un claro recordatorio de los siguientes puntos.

En primer lugar, la investigación científica procede *gradualmente*, y precisamente de tal modo que incluso las comprensiones acertadas que de vez en cuando se consiguen por pura suerte son resultado de anterior investigación y quedan siempre sujetas a corrección. En segundo lugar, la investigación científica, por lo menos respecto del mundo de los hechos, da *verdades parciales*, más que verdades completas y, por lo tanto, finales. En tercer lugar, el método científico, a diferencia de los azarosos tanteos del sentido común y de la especulación sin control, *se corrige a sí mismo*: puede identificar sus errores y puede intentar obtener aproximaciones de orden superior, es decir, respuestas más verdaderas.

Otras tácticas de la ciencia son menos universales: hay que discutirlas refiriéndose a específicos problemas y teorías científicas. Así, por ejemplo, la técnica de rayos X para la identificación de compuestos químicos exige la aplicación de la óptica ondulatoria a la difracción de las ondas por retículos cristalinos: sólo una teoría así nos permite interpretar los anillos observados en los roentgendiagramas, anillos que en otro caso serían signos sin sentido, puesto que no tienen parecido alguno con las configuraciones atómicas respecto de las cuales nos informan.

En general, los métodos especiales de la ciencia están *fundados* de un modo u otro en teorías científicas, las cuales se someten a su vez a contrastación con la ayuda de dichas técnicas. Tal es el caso hasta para una técnica tan elemental como la de la pesada con una balanza de platillos: esa técnica presupone la estática y, en particular, la ley de la palanca. Las técnicas y los instrumentos científicos no están nunca consagrados sólo por el éxito: están proyectados y justificados con la ayuda de teorías. La posibilidad de justificar teoréticamente cualquier método especial utilizado en la ciencia hace a ésta netamente diversa de las pseudociencias, las cuales emplean procedimientos no fundados, como la adivinación mediante la inspección de un hígado de cordero, o de manchas de tinta, o la audición de la narración de sueños.

El diseño y la justificación de las técnicas especiales de la ciencia corresponden a las ciencias especiales. Aunque toda técnica científica suscita problemas filosóficos referentes a la inferencia, la mayoría de esos problemas tienen que discutirse en el contexto de las respectivas disciplinas. Desgraciadamente, estas cuestiones suelen ser despreciadas o tratadas sin competencia filosófica, a causa de lo cual está aún sujeta a muchos malentendidos la naturaleza de las técnicas científicas y de los resultados que obtienen. Por ejemplo, si la cuestión de la convalidación teórica de las técnicas empíricas de la ciencia se encontrara en un estado más maduro, todo el mundo se daría cuenta de que la información empírica no se estima nunca en un vacío teórico, sino que toda pieza de evidencia empírica tiene que juzgarse a la luz de la teoría utilizada al diseñar y llevar a la práctica la técnica con la cual se ha obtenido esa información. Del mismo modo que ninguna teoría factual se sostiene por sí misma, así tampoco hay dato que constituya por sí mismo evidencia en favor o en contra de una teoría, a menos de que haya sido conseguido e interpretado con la ayuda de alguna teoría científica. En particular, ninguna información obtenida por medios extracientíficos (por ejemplo, las declaraciones de un médium espiritista) puede considerarse evidencia contra teorías científicas o en favor de teorías no-científicas. No hay contrastación de la ciencia que sea independiente de la ciencia. Y esto no implica que los resultados de la ciencia estén sustraídos a la crítica, sino sólo que la única

crítica legítima de la ciencia es la crítica interna. Consecuencia para los críticos filosóficos de la ciencia: Primero estudiar, discutir luego.

Exploremos ahora algunas consecuencias de la tesis según la cual la ciencia es metodológicamente una a pesar de la pluralidad de sus objetos y de las técnicas correspondientes.

Problemas

1.3.1. Indicar las diferencias entre las técnicas especiales y la metodología general de una determinada disciplina científica.

1.3.2. Comentar e ilustrar los catorce principios de investigación propuestos por E. Bright Wilson, *An Introduction to Scientific Research*, Nueva York, McGraw-Hill, 1952, pp. 140ss.

1.3.3. ¿Necesita la biología métodos propios especiales además de los de la física y la química? En caso afirmativo, ¿por qué?

1.3.4. Examinar los *pasos* de una secuencia de operaciones típicamente farmacológica, tal como está descrita por C. D. Leake, "The Scientific Status of Pharmacology", *Science, 134*, 2069, 1961.

1.3.5. La geología ha utilizado siempre conceptos físicos ("deformación", "presión", "transporte", "acarreo", "calor", "fusión", "solidificación", etc.). Pero el uso de *teorías* (mecánica, hidrodinámica, termodinámica, etc.) no llegó hasta bastante más tarde, y la aplicación de *métodos* físicos no se ha intentado hasta nuestro siglo. La geología experimental particularmente (o sea, la simulación de procesos geológicos en el laboratorio) es un recién nacido. Utilizar este ejemplo, y otros si es posible, para ilustrar y ampliar la tesis de que una disciplina no llega a un status científico sino gradualmente, y suele hacerlo mediante la adopción de algunas ideas y métodos especiales de otra ciencia ya madura y emparentada con ella.

1.3.6. ¿En qué consiste el método comparativo, qué ciencias lo usan y por qué? *Problema en lugar de ése*: Examinar los métodos iterativos y discutir su relevancia para la teoría del conocimiento. Cf., por ejemplo, E. Whittaker y G. Robinson, *The Calculus of Observation*, 4a ed., Londres y Glasgow, Blackie & Son, 1944, secs. 42-45.

1.3.7. Bacon creyó que había inventado procedimientos rutinarios para la investigación científica: *Novum Organum*, 1620, reimpreso en *The Philosophical Works of Francis Bacon*, ed. por J. M. Robertson, Londres, Routledge, 1905, Aphorism LXI, p. 270: "el procedimiento que propongo para el descubrimiento del saber es tal que deja muy poco a la agudeza y el ingenio, y pone todo ingenio y todo entendimiento más o menos al mismo nivel". ¿En qué pensaba Bacon: en el método científico o en un conjunto de técnicas para la recolección de los datos y su comparación?

1.3.8. Examinar la tesis de que la psicología no puede utilizar los métodos objetivos de la ciencia porque el sujeto (el investigador) y el objeto (el objeto de la investigación) son uno y el mismo (o porque el objeto de la investigación es parte del sujeto conocedor).

1.3.9. El estudio por sentido común de la personalidad de un individuo lleva al que la estudia a intentar meterse en el pellejo del otro, que es lo mejor para entender su comportamiento. Este procedimiento ha sido llamado *método de comprension simpatética* (empatía, *Verstehen*), y fue defendido por W. Dilthey y R. G. Collingwood como el método adecuado para la psicología y la historia. Examinar esa pretensión. Cf. M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven, CT, Yale University Press, 1996 [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

1.3.10. En el curso de la historia de la filosofía se han presentado los siguientes principios relativos al uso de la ciencia por el filósofo: (*i*) La filosofía no puede dar aplicación alguna a los

métodos ni a los resultados de la ciencia; (*ii*) la filosofía puede utilizar algunos resultados de la ciencia, pero ninguno de sus métodos; (*iii*) la filosofía puede usar el método general de la ciencia, más que sus resultados; (*iv*) la filosofía puede usar tanto el método cuanto los resultados de la ciencia. Exponer la propia opinión y argüir en favor de ella.

1.4. LAS RAMAS DE LA CIENCIA

Diferenciando entre el método general de la ciencia y los métodos especiales de las ciencias particulares hemos aprendido lo siguiente: primero, que el método científico es un modo de tratar problemas intelectuales, no cosas, ni instrumentos, ni hombres; consecuentemente, puede utilizarse en todos los campos del conocimiento. Segundo, que la naturaleza del objeto en estudio dicta los posibles métodos especiales del tema o campo de investigación correspondiente: el objeto (sistema de problemas) y la técnica van de la mano. La diversidad de las ciencias está de manifiesto en cuanto que atendemos a sus objetos y sus técnicas; y se disipa en cuanto que se llega al método general que subyace a aquellas técnicas.

La diferencia primera y más notable entre las varias ciencias es la que se presenta entre *ciencias formales* y *ciencias fácticas,* o sea, entre las que estudian ideas y las que estudian hechos. La lógica y la matemática son ciencias formales: no se refieren a nada que se encuentre en la realidad, y, por tanto, no pueden utilizar nuestros contactos con la realidad para convalidar sus fórmulas. La física y la psicología se encuentran en cambio entre las ciencias fácticas: se refieren a hechos que se supone ocurren en el mundo, y, consiguientemente, tienen que apelar a la experiencia para contrastar sus fórmulas.

Así, la fórmula "x es azul", o, para abreviar, "$A(x)$, es verdadera de ciertas cosas, o sea se convierte en una determinada proposición verdadera si se da como valor a la variable x el nombre de algo que efectivamente sea azul, como el Mar Egeo; y es falsa de muchas otras cosas, o sea, se convierte en una proposición falsa para la mayoría de otros valores asignables a la variable de objeto x. Por otro lado, "x es azul y x no es azul", o "$A(x)$ & $-A(x)$", para abreviar, es falsa para todo valor de x, es decir, en toda circunstancia. Por tanto, su negación, "No ocurre que x es azul y x no es azul", es verdadera, y su verdad es independiente de los hechos; en particular, no depende de la experiencia (la región fáctica de la que participa el hombre). Dicho brevemente: "$A(x)$" es el esqueleto o forma de una idea fáctica (si mantenemos la interpretación del predicado "A" como predicado que designa la propiedad de ser azul). Por otro lado, "$-[A(x)$ & $-A(x)]$" (léase: "No ocurre que x es A y x no es A") es la estructura de una idea formal, una verdad lógica en este caso: su valor veritativo no depende de los valores particulares que pueda tomar x; aún más: es independiente de la interpretación que podamos dar al signo 'A'.

La lógica se interesa, entre otras cosas, por la estructura de las ideas factuales y formales; pero mientras que en el primer caso la lógica es insuficiente para hallar valores veritativos, en el último caso la lógica y/o la matemática se bastan para convalidar o invalidar cualquier idea de este tipo puro. En resolución: la ciencia formal es *autosuficiente* por lo que hace al contenido y al método de prueba, mientras que la ciencia fáctica de-

pende del hecho por lo que hace al contenido o significación, y del hecho experiencial para la convalidación. Esto explica por qué puede conseguirse verdad formal completa, mientras que la verdad fáctica resulta tan huidiza.

Puede decirse que el tema propio de la ciencia formal es la forma de las ideas. Otra caracterización equivalente de la ciencia formal consiste en decir que se refiere a las *fórmulas analíticas,* esto es, a fórmulas que pueden convalidarse por medio del mero análisis racional. Considérese, por ejemplo, el enunciado según el cual, si A y B son conjuntos, entonces, si A está incluido propiamente en B, B no está incluido en A. La verdad de este enunciado no depende del tipo de conjunto considerado, ni se establece mediante el estudio de conjuntos de objetos reales: la fórmula pertenece a la teoría de conjuntos abstractos (no descritos): es puramente formal y, consiguientemente, universal, esto es, aplicable siempre que se trate de conjuntos, tipos, especies, ya sean de números o de plantas. Hay diversos géneros de fórmulas analíticas. Para nuestro actual interés las más importantes son las que resultan verdaderas (o falsas) en virtud de su forma lógica, y las que son verdaderas (o falsas) a causa de las significaciones de los símbolos presentes en ellas. El primer conjunto –el de la analiticidad sintáctica– puede ejemplificarse por: "Si x, y, z son números, entonces, si $x = y$, $x + z = y + z$". El segundo –analiticidad semántica– puede ejemplificarse por la frase "Fórmulas sintéticas son todas y sólo las fórmulas que no son analíticas". La ciencia formal no contiene más que fórmulas analíticas, mientras que la ciencia factual contiene, además de esas, *fórmulas sintéticas,* o sea, fórmulas que no pueden ser convalidadas sólo por la nuda razón.

La clara dicotomía entre ciencia formal y ciencia fáctica no debe ocultarnos el hecho de que el conocimiento conceptual de cualquier género (a diferencia de los hábitos, las habilidades y otros tipos de conocimiento no-conceptual) consiste en ideas: la lógica es un conjunto de ideas igual que lo es la física teórica. Todas las ideas, por concreta que sea su referencia, tienen alguna forma determinada. Así, la forma de "x es azul" es la misma que la de "x es primo", o sea, un esquema sujeto-predicado: "$P(x)$". Análogamente, "x es más amable que y" y "x es mayor que y" contienen un predicado binario o diádico: ambas son esquemas de la forma "$L(x, y)$", o, más precisamente, "$x > y$". Además, toda fórmula dada, cualquiera que sea su contenido, puede transformarse en una fórmula lógicamente equivalente: así, el simple enunciado p puede convertirse, sin ganar ni perder nada, en $--p$ (doble negación), en $p \& t$ y en $p \vee -t$, si 't' es una tautología cualquiera (una identidad lógica). La forma lógica de una proposición es independiente de su contenido. Así, por ejemplo, una variable proposicional p puede interpretarse en una infinidad de maneras. Y una identidad lógica, o tautología, tal como $-(p \in -p)$, carece de contenido, ya que vale en todas las circunstancias. Por consiguiente, la lógica nada puede decir acerca del mundo: carece de compromiso ontológico. En cambio, nada razonable puede decirse acerca del mundo a menos que se respete la lógica. Esto es así no sólo porque la lógica regula el razonamiento, sino también porque el contenido depende de la forma. En efecto, lejos de ser arbitraria, la interpretación de una fórmula está constreñida por su estructura. Por ejemplo, '$x < y$' puede interpretarse como 'x está debajo de y', pero no como 'x está abajo', ni como 'x yace entre y y z'. En resumen, la lógica marcha por su cuenta, pero provee andamios prefabricados para construir cualquier idea acerca de cualquier cosa. Lo mismo vale para la matemática.

Como toda fórmula tiene una u otra forma lógica –y a veces no es nada más que una forma lógica– podemos esperarnos que en todo el cuerpo de la ciencia aparecerán fibras de ciencia formal, aunque no resulten al principio muy visibles. La rigidez que en un momento dado pueda tener el cuerpo del conocimiento se debe a las estructuras lógicas y matemáticas incorporadas a él, más que a los hechos que estudie o a la evidencia por cuyo medio se estimen sus pretensiones de verdad. Pues, en definitiva, el conocimiento científico de los hechos es siempre parcial, indirecto, incierto y corregible, mientras que las formas están hechas por nosotros mismos, y podemos congelarlas. Dicho brevemente: toda la dura resistencia que se encuentre en la ciencia arraiga en su estructura formal: los datos y las hipótesis son maleables, es decir, corregibles.

De esto no se sigue que los *hechos* objetivos sean blandos y deformables, alterables a voluntad: para bien o para mal, la mayoría de los hechos no son cambiables a gusto. Lo que se sigue es que la ciencia factual presupone y contiene ciertas teorías formales que no somete a discusión ni puede someter a duda, porque los hechos son irrelevantes respecto de las ideas puras. (Pero tampoco se sigue de esta situación que las teorías formales sean incorregibles: se perfeccionan constantemente en sus propios contextos formales –pero no como resultado de algún esfuerzo por intentar que concuerden mejor con los hechos–; por tanto, no con los mismos métodos especiales de la ciencia factual.) En resolución: lógicamente –aunque no psicológicamente– la ciencia fáctica *presupone* la ciencia formal. (Trataremos esto más despacio en las secciones 5.9 y 15.6.)

Dentro de la ciencia formal pueden intentarse varias ordenaciones; pero como nuestro tema es la ciencia factual, no nos interesaremos por esta cuestión. Respecto de la ciencia factual adoptaremos la ordenación expuesta en el siguiente diagrama. El diagrama pare-

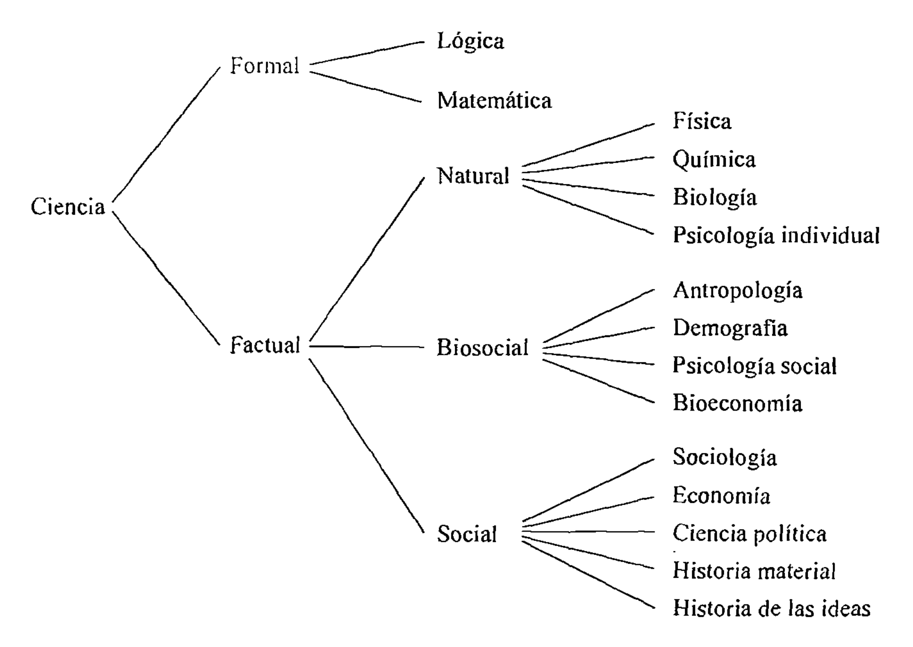


FIGURA. 1.4. Una clasificación de las ciencias. Se invita al lector a reordenarlas y a rellenar las numerosas lagunas, así como a proponer interciencias (o ciencias híbridas).

ce metodológicamente consistente, en el sentido de que sugiere las disciplinas presupuestas por cualquier ciencia. Pero son posibles otras ordenaciones, y los trazados de límites entre disciplinas contiguas son siempre algo nebulosos y de escasa utilidad. Además, sería insensato insistir mucho en el problema de la clasificación de las ciencias, que en otro tiempo fue pasatiempo favorito de los filósofos y hoy no pasa de ser pejiguera para la administración de la actividad científica y para los bibliotecarios. Nos espera otro tema más interesante: el objetivo de la investigación.

Problemas

1.4.1. Dar dos ejemplos de ideas factuales y de ideas formales. Mostrar, además, que son efectivamente factuales las unas y formales las otras.

1.4.2. Numerosas afirmaciones de la ciencia factual pueden demostrarse rigurosamente por deducción a partir de premisas (por ejemplo, a partir de los axiomas de una teoría física). ¿Se sigue de ello que esas afirmaciones no tienen contenido factual?

1.4.3. Si una fórmula es *a priori*, es decir, independiente de la experiencia, entonces es analítica, esto es, su convalidación es cosa puramente lógica. ¿Vale la afirmación recíproca, es decir, es toda fórmula analítica una fórmula *a priori*? ¿O es posible tener fórmulas analíticas *a posteriori*, o sea, fórmulas que pueden derivarse por medios puramente lógicos en base a previos supuestos, pero que no pueden convalidarse, en cuanto a su valor veritativo, aparte de la experiencia? Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, Inc., 1963, cap. 2.

1.4.4. Numerosas teorías matemáticas se han construido en gran parte como respuestas a necesidades de la vida cotidiana o de la ciencia factual, pura o aplicada. ¿Prueba esto que la matemática se ocupa de hechos? ¿Y prueba que la matemática se contraste mediante la aplicación?

1.4.5. Arquímedes y otros matemáticos han utilizado artificios mecánicos para probar teoremas matemáticos. ¿Muestra eso que la matemática puede trabajarse como una ciencia factual, o que las indicadas pruebas no eran pruebas matemáticas en absoluto, sino más bien procedimientos heurísticos?

1.4.6. Si la lógica y la matemática no se ocupan de la realidad, ¿a qué se debe el que sean aplicables a ella? Indicación: examinar si la ciencia formal se aplica a la realidad o más bien a nuestras ideas sobre la realidad.

1.4.7. Algunas fórmulas, como "Si p, entonces si q, entonces p" (o sea: $p \rightarrow (q \rightarrow p)$), y "Para todo x, o bien x es P o bien x no es P" (o sea: $(x)\ [P(x) \vee -P(x)]$) son *universalmente* verdaderas: la primera vale para todos los valores asignables a las variables proposicionales p y q, y la segunda para todos los valores de la variable individual x y de la variable predicativa P. Se ha inferido de esto que la lógica vale para los rasgos más generales de todos los objetos y que, por tanto, sería una especie de ontología general, "*une physique de l'objet quelconque*" (F. Gonseth). Indicación para la discusión: empezar por establecer si la lógica se refiere realmente a objetos cualesquiera o más bien a ideas cualesquiera.

1.4.8. La etiqueta *ciencia empírica* se usa más frecuentemente que la expresión *ciencia factual* en nuestra tradición lingüística. ¿Por qué? ¿Se trata de nombres incompatibles, o apuntan a aspectos diferentes de la ciencia: a su objeto (el mundo de los hechos) y al modo como convalida su pretensión de verdad (experiencia)?

1.4.9. Analizar las relaciones que median entre dos ramas contiguas de la ciencia; por ejemplo, entre la climatología y la geofísica, entre la geología y la física, entre la zoología y la

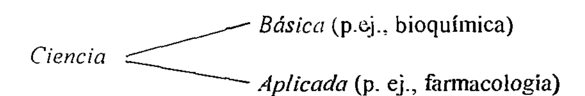
paleontología, entre la antropología y la arqueología, entre la historia y la sociología, entre la economía y la sociología.

1.4.10. Perfeccionar la clasificación de las ciencias ofrecida en el texto. Asegurarse de que se está usando un criterio de clasificación claro. Indicación: no intentar incluir todas las ciencias, porque seguramente mientras uno está trabajando en este problema está naciendo en algún sitio una ciencia nueva.

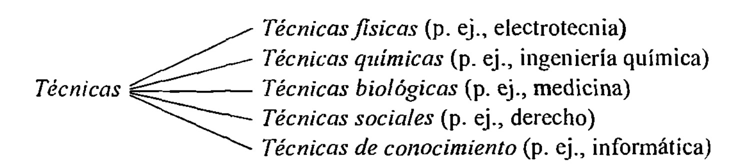
1.5. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA CIENCIA

Los métodos son medios arbitrados para alcanzar ciertos fines. ¿Para qué fines se emplean el método científico y las varias técnicas de la ciencia? En primer lugar, para incrementar nuestro conocimiento (objetivo intrínseco, o cognitivo); en sentido derivativo, para aumentar nuestro bienestar y nuestro poder (objetivos extrínsecos o utilitarios). Si se persigue un fin puramente cognitivo, se obtiene *ciencia pura*; si la finalidad a largo plazo es utilitaria, resulta *ciencia aplicada*; y si la meta es utilitaria a corto plazo, se hace *técnica* (o *tecnología*, por emplear un anglicismo). Pero las tres emplean el mismo método, y los hallazgos de cualquiera de ellas pueden utilizarse en las otras dos. Sin embargo, hay una importante diferencia *moral* entre estos campos: en tanto que la ciencia básica es inofensiva, la ciencia aplicada y la técnica pueden ser dañinas.

En lo que respecta a las metas se da, pues, la participación siguiente:



Las principales ramas de la técnica contemporánea son:



Muchos niegan la participación del conocimiento fundado en básico, aplicado y técnico, al punto de amalgamarlos en lo que llaman *tecnociencia* (disciplina desconocida tanto por los científicos como por los técnicos). Esta opinión ignora las diferencias de metas: conocimiento en un caso y utilidad en los demás. Dicha opinión tampoco tiene en cuenta las diferencias de puntos de vista y de motivación entre el explorador que busca pautas y el investigador o artesano que persigue algo de posible utilidad práctica. Otras veces se concede esta diferencia pero se alega que la ciencia aplicada y la técnica generan la ciencia básica y no al revés. Pero es obvio que debe existir el conocimiento antes de poder aplicarlo.

Lo que sí es verdad es que la acción –la industria, el gobierno, la educación, etc.–

plantea problemas frecuentemente, problemas que sólo la ciencia pura puede resolver. Y si esos problemas se elaboran con el espíritu libre y desinteresado de la ciencia pura, las soluciones a dichos problemas pueden resultar aplicables a fines prácticos. Dicho brevemente: la práctica, junto con la mera curiosidad intelectual, es una fuente de problemas científicos. Pero dar a luz no es criar. Hay que cubrir un ciclo entero antes de que salga algo científico de la práctica: Práctica → Problema Científico → Investigación Científica → Acción Racional. Tal fue el esquema más frecuente hasta la mitad del siglo XIX, más o menos, cuando la física dio nacimiento a la ingeniería eléctrica: a partir de entonces la tecnología propiamente dicha –y ya no sólo la habilidad profesional precientífica– quedó firmemente establecida. Y ya luego la curiosidad intelectual ha sido la fuente de la mayoría de los problemas científicos, empezando, desde luego, por todos los importantes; la tecnología ha seguido frecuentemente la estela de la investigación pura, disminuyendo constantemente el desfase entre las dos. Si se exageran los objetivos externos de la ciencia, se debilitan la curiosidad y la libertad de la investigación, esto es la libertad de dudar de las ideas recibidas y la libertad de intentar establecer otras nuevas, aunque no parezcan socialmente útiles. El resultado inmediato es la debilitación de la ciencia pura, lo cual lleva por último al estancamiento tecnológico. La política más práctica consiste en no poner fines prácticos a la ciencia.

El blanco primario de la investigación científica es pues el *progreso del conocimiento*. Tal es el caso incluso de la investigación aplicada, como la investigación del efecto de las medicinas en condiciones patológicas; lo que pasa es que en estos casos no se busca conocimiento sin más calificación, sino conocimiento útil. Ahora bien: existe la investigación por la causa pura del conocimiento, pero no existe entidad alguna que podamos considerar como el conocimiento en sí mismo: el conocimiento lo es siempre *de* algo, por ejemplo, del envejecimiento de las estrellas, o de los hombres. El objetivo central de la investigación en la ciencia factual pura es, por definición, mejorar nuestro conocimiento del mundo de los hechos; y el de la investigación científica aplicada es mejorar el control del hombre sobre los hechos.

¿Significa eso que la investigación científica aspira a trazar *mapas de los hechos*, a trazar, por así decirlo, una gigantesca cosmografía que contuviera la descripción de todo acaecer de la naturaleza y de la cultura? Evidentemente no. Primero, porque una descripción completa ya de nuestro dedo meñique sería prácticamente imposible, a causa del número de sus constituyentes y de la variedad de hechos que ocurren en él en un segundo; por lo demás, si esa descripción fuera posible no tendría, tampoco, ningún interés. En segundo lugar, porque ninguna descripción de un sistema real puede ser razonablemente completa mientras no utilice las leyes de ese sistema, puesto que las leyes constituyen la esencia de todo lo que existe: una mera descripción de apariencias yerraría los rasgos esenciales del sistema. Pero una vez conocidas las leyes, resulta que la descripción detallada tiene ya poco interés. En tercer lugar, porque no nos interesan sólo los existentes actuales, sino también los posibles –las semillas del futuro–, y sólo las leyes, también en este caso, pueden darnos un conocimiento de posibilidades. En cuarto lugar, porque ninguna descripción puede servirnos ni para explicar lo que ocurre ni para predecir lo que puede ocurrir: la explicación y la predicción científicas se basan en leyes que, a su vez, entrelazan teorías. La comprensión del mundo, en resolución, se consigue con la ayuda

de teorías, no de catálogos. Consecuentemente, la reproducción exhaustiva de cada porción de la realidad –o de cada elemento de la experiencia humana– carece de interés, no sólo por ser un racimo de uvas verdes, sino, además, porque no se trata en absoluto de un racimo de uvas.

Lo que busca la ciencia fáctica es establecer mapas de las *estructuras* (leyes) de los varios dominios fácticos. La reconstrucción conceptual de una estructura objetiva es una ley científica (como la ley de inercia); un sistema de tales enunciados legaliformes es una teoría científica (como la teoría newtoniana del movimiento). Más que una cosmografía, pues, la ciencia factual es una cosmología: una reconstrucción conceptual de las estructuras objetivas de los acontecimientos, tanto de los actuales cuanto de los posibles, con lo que se posibilita la comprensión y la precisión de los mismos y, con ello, su control tecnológico.

Cuando las técnicas científicas se aplican a la consecución de datos sin hallar estructuras generales se consigue ciencia embrionaria, *protociencia*. Y cuando el objetivo perseguido es el de la ciencia madura, pero en cambio no se utilizan su método ni sus técnicas, se trata de *especulación* acientífica, ya en la forma de filosofía de la naturaleza, ya en la de la metafísica tradicional (la cual es la ontología no inspirada ni controlada por la ciencia). La especulación acientífica vive del atraso de la ciencia propiamente dicha; así, la psicología filosófica y la antropología filosófica se mantienen vivas porque las correspondientes disciplinas científicas se encuentran aún en un estadio protocientífico; aquella vitalidad no puede sorprender; pues es claro que ambas especulaciones resultan más fáciles y más interesantes que la colección de datos de información aislados, aún sin objetivo teórico. En resolución: no existe ciencia propiamente dicha a menos que el método científico se utilice para alcanzar el objetivo de la ciencia, la construcción de imágenes teoréticas de la realidad, y esencialmente de su tejido de leyes. La investigación científica es, dicho brevemente, la búsqueda de estructuras.

(Algunos filósofos evitan los términos 'mundo' y 'realidad' basándose en que denotan conceptos metafísicos: esos filósofos sostienen que todo lo cognoscible es nuestra propia experiencia, y, consecuentemente, que el único objetivo legítimo de la ciencia consiste en dar razón de la suma total de la experiencia humana. Esta opinión –el empirismo radical– no da a su vez razón de la mera existencia de la mayoría de las ciencias, a saber, y señaladamente, de las que tratan con objetos empíricamente inaccesibles, como los átomos de nuestro cerebro. La ciencia intenta explicar hechos de cualquier clase, incluidos los relativamente pocos hechos experienciales con que efectivamente se encuentra el hombre. En realidad, la experiencia no es el único ni siquiera el principal objeto de la investigación, y, por tanto, tampoco es el único *relatum* de las teorías científicas; la experiencia, si es científica, es un medio de *contrastación* imprescindible de las teorías, pero no suministra todo el contenido o significación de todas ellas. Además, para explicar la experiencia humana –el objeto de las ciencias del hombre– necesitamos algún conocimiento del mundo natural del que formamos parte, y este mundo, generalmente no visto ni tocado, se reproduce gradualmente mediante teorías contrastables que van más allá de lo que puede ser objeto de experiencia.)

La ciencia, pues, tiende a construir *reproducciones conceptuales de las estructuras de los hechos*, o sea, teorías fácticas. Pero también la mitología ofrece modelos del mun-

do, para entenderlo y para dominarlo mejor. ¿Por qué vamos a preferir las teorías científicas a las especulaciones míticas? La primera tentación invita a contestar: porque las teorías científicas son reconstrucciones verdaderas de la realidad. Pero un vistazo a las infinitas convulsiones de la ciencia, en las cuales la mayoría de las teorías aparecen inficionadas por algún que otro error y sólo unas pocas aparecen como verdaderas, aunque nunca definitivamente, debe convencernos de que la investigación científica no consigue la verdad completa. ¿Qué derecho tenemos, entonces, a creer que la ciencia sale mejor librada que la mitología, especialmente si también la ciencia inventa conceptos como "campo", "neutrino' y "selección natural", a los que no puede asociarse unívocamente ninguna experiencia sensible?

¿Debemos llegar a la conclusión de que la mitología y la ciencia suministran imágenes de la realidad diferentes, pero igualmente legítimas? Es evidente que no: la ciencia no pretende ser verdadera, ni, por tanto, final e incorregible, cierta, como, en cambio, hace la mitología. Lo que afirma la ciencia es (*i*) que es *más verdadera* que cualquier modelo no-científico del mundo, (*ii*) que es capaz de probar, sometiéndola a contrastación empírica, esa pretensión de verdad, (*iii*) que es capaz de *descubrir sus propias deficiencias*, y (*iv*) que es capaz de *corregir sus propias deficiencias*, o sea, de construir representaciones parciales de las estructuras del mundo que sean cada vez más adecuadas. No hay ninguna especulación extracientífica que sea tan modesta y que, sin embargo, dé tanto de sí.

Lo que permite a la ciencia alcanzar su objetivo –la construcción de reconstrucciones parciales y cada vez más verdaderas de la realidad– es su método. En cambio, las especulaciones no-científicas acerca de la realidad (*i*) no suelen plantear cuestiones propias y limpiamente formuladas, sino más bien problemas que ya contienen presupuestos falsos o insostenibles, tales como "¿Cómo y cuándo se creó el Universo?"; (*ii*) no proponen hipótesis ni procedimientos fundamentados y contrastables, sino que ofrecen tesis sin fundamento y generalmente incontrastables, así como medios incontrolables (inescrutables) para averiguar su verdad (p. ej., la Revelación); (*iii*) no trazan contrastaciones objetivas de sus tesis y de sus supuestas fuentes de conocimiento, sino que apelan a alguna autoridad; (*iv*) consiguientemente, no tienen ocasión alguna de contrastar sus conjeturas y procedimientos con resultados empíricos frescos, y se contentan con hallar ilustraciones de sus concepciones para meros fines de persuasión, más que por buscar realmente contrastación, como muestra la facilidad con que esas concepciones eliminan toda evidencia negativa; (*v*) no suscitan nuevos problemas, pues todo su interés es más bien terminar con la investigación, suministrando, listo para llevar, un conjunto de respuestas a toda cuestión posible o permitida.

La ciencia, en cambio, no consigue más que reconstrucciones de la realidad que son problemáticas y no demostrables. En realidad, y por eso mismo, no suministra nunca un modelo único de la realidad en cuanto todo, sino un *conjunto de modelos parciales*, tantos cuantas teorías tratan con diferentes aspectos de la realidad; y esa variedad no depende sólo de la riqueza de la realidad, sino también de la heterogeneidad y la profundidad de nuestro instrumental conceptual. La investigación no arranca de tales visiones sintéticas de pedazos de realidad, sino que, llega a ellas mediante el *análisis racional* y *empírico*.

El primer paso del análisis, sea científico o no, es la discriminación de los componentes a algún nivel determinado, por ejemplo, la distinción entre órganos o funciones en un

organismo. En un estadio ulterior, se descubren las relaciones entre esos componentes, y esto suministra ya una primera estampa del todo, o sea, la estampa conceptual sinóptica que había que buscar. Una vez conseguido tal modelo del sistema (conjunto de entidades interrelacionadas), puede usarse como instrumento para un análisis más profundo, cuyo resultado se espera que sea una síntesis más adecuada. Cuando se procede especulativamente, es decir, partiendo de grandes visiones sintéticas en vez de trabajar por este procedimiento fragmentario y analítico, se está haciendo algo típicamente acientífico.

Así pues, la investigación científica no termina en un final único, en una verdad completa: ni siquiera busca una fórmula única capaz de abarcar el mundo entero. El resultado de la investigación es un conjunto de enunciados (fórmulas) más o menos verdaderos y parcialmente interconectados, que se refieren a diferentes aspectos de la realidad. En este sentido es la ciencia pluralista. Pero en otro sentido es monista: la ciencia se enfrenta con todos los campos del conocimiento con un solo método y un solo objetivo. La unidad de la ciencia no estriba en una teoría única que lo abrace todo, ni siquiera en un lenguaje unificado apto para todos los fines, sino en la unidad de su planteamiento,

El proceso de reconstrucción del mundo mediante ideas y de contrastación de toda reconstrucción parcial es un proceso infinito, a pesar de la infundada, pero frecuente, esperanza de que la teoría definitiva esté a punto de presentarse. La investigación descubre constantemente lagunas en sus mapas del mundo. Por tanto, la ciencia no puede proponerse un objetivo definido como algo último, algo así como la construcción de una cosmología completa y sin fallas. El objetivo de la ciencia es más bien el *perfeccionamiento continuo* de sus principales productos (las teorías) y medios (las técnicas), así como la sujeción de territorios cada vez mayores a su poder.

¿Tiene *límites* esta expansión del objeto de la ciencia? Esto es: ¿hay problemas de conocimiento que no puedan ser tratados con el método y según el objetivo de la ciencia? Las inevitables limitaciones temporales determinadas por nuestra ignorancia no son, naturalmente, la cuestión planteada por esas preguntas; ni tampoco lo son las limitaciones extrínsecas, como las impuestas por el poder ideológico, político o económico. Lo que se pregunta es si hay objetos de conocimiento que sean intrínsecamente recalcitrantes ante el planteamiento científico. Un optimista pensaría que, puesto que la historia de la ciencia muestra el aumento del dominio fáctico cubierto por la ciencia, debemos creer que esa expansión no se detendrá nunca, a menos que nosotros mismos nos degollemos. Pero ninguna experiencia pasada, ninguna tendencia histórica es plenamente demostrativa, por sugestiva que sea: pueden presentarse problemas, a juzgar por lo que sabemos, que resulten impermeables al planteamiento científico.

La conclusión última no tiene por qué sumirnos en el pesimismo respecto del alcance del enfoque científico: hay un hueco para el realismo entre el pesimismo y el optimismo. Una estimación realista podría ser la siguiente. En primer lugar, podemos esperar que todo problema cognoscitivo resultará ser parcialmente resoluble o irresoluble con los medios (métodos especiales), los datos de que dispone la ciencia en cada momento determinado En segundo lugar, no se ha hallado nunca un método más poderoso que el de la ciencia, y todo esfuerzo en tal sentido que se haya visto coronado por el éxito ha resultado ser un perfeccionamiento del método científico; en particular, los intentos de captar la realidad directamente, sin elaboración alguna (o sea, por percepción directa, por simpatía o por

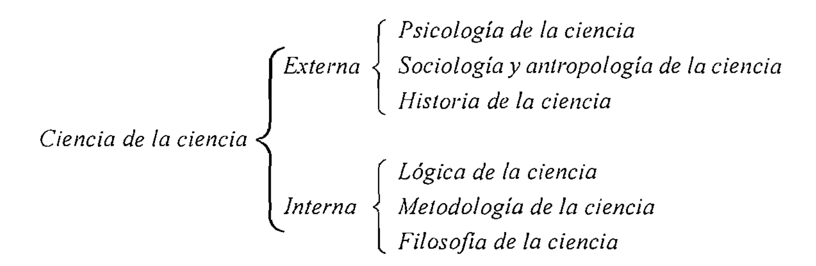
pura especulación), han fracasado sin excepción, y, por si eso fuera poco, la ciencia puede explicar por qué tenían que fracasar necesariamente, a saber, porque muchos, la mayoría de los hechos, están más allá de la experiencia y, consiguientemente, tienen que ser objeto de hipótesis, no de intuición directa. En tercer lugar, el método científico y las técnicas especiales que lo complementan no son nada concluso: han ido evolucionando a partir de precedentes más rudimentarios y tendrán que perfeccionarse si queremos obtener resultados mejores. En cuarto lugar, como lo peculiar a la ciencia no es un objeto determinado (o conjunto de problemas determinado), sino más bien un planteamiento preciso (un método y un objetivo), cualquier cosa se convierte en tema científico, en objeto de la investigación científica, en cuanto que se trata con el método de la ciencia y para alcanzar el objetivo de ésta, aunque ese tratamiento no tenga éxito. En resolución: no podemos ni deseamos garantizar el éxito del enfoque científico de problemas de conocimiento de cualquier género: la ciencia no es una panacea; nuestra afirmación, más modesta, es que el enfoque científico resulta ser el mejor de que disponemos.

Pero hay al menos un objeto –podría uno estar dispuesto a reconocer– que no estudia la ciencia fáctica, a saber, la ciencia misma. Sin embargo, es claro que el estudio de la ciencia puede plantearse científicamente, y que así se hace de hecho de vez en cuando: tenemos, en efecto, unas cuantas inmaduras ciencias de la ciencia. Si se considera la ciencia como una peculiar actividad de individuos y equipos, entonces podemos apelar a la psicología de la ciencia; esta disciplina estudiará, entre otras cosas, el impulso cognitivo, los procesos psicológicos de la producción de hipótesis, la rigidez mental entre los científicos, etc. Si consideramos la ciencia en su contexto social, nos encontramos con la sociología de la ciencia, o sea, con el estudio de los factores sociales que facilitan la investigación y de los que la inhiben, estudio del papel de la ciencia en el planeamiento y el control de la acción humana, etc. Y si estudiamos la ciencia como un aspecto de la evolución cultural, surge la historia de la ciencia, o sea, el estudio de los orígenes y el desarrollo de una línea de investigación, de los cambios de perspectiva científica, etc. Todas ésas son consideraciones *externas* de la ciencia, en el sentido de que no analizan ni critican el método ni el resultado de la investigación, sino que los toman como dados. Además, la psicología, la sociología y la historia de la ciencia son ciencias factuales (empíricas) de la ciencia; manejan y elaboran una gran cantidad de datos empíricos.

El estudio *interno* de la ciencia ha sido desde sus comienzos un tema filosófico. Han sido filósofos –o, a veces, científicos de vacaciones– los que han estudiado el esquema general de la investigación científica, la lógica del discurso científico y las implicaciones filosóficas de su método y de sus resultados. Este estudio interno de la ciencia se interesa por el conocimiento científico independientemente de su origen psicológico, de sus bases culturales y de su evolución histórica, mientras que el estudio externo se ocupa sobre todo de las actividades humanas supuestas por (e incluidas en) la producción, el consumo, el desperdicio y la corrupción de la ciencia: las ciencias externas de la ciencia son otras tantas ramas de la ciencia de la cultura. El estudio interno de la ciencia, en cambio, se encuentra por encima de su objeto, en el sentido semántico de ser un discurso sobre un discurso. Y del mismo modo que un enunciado acerca de un enunciado se llama un metaenunciado, así también el estudio interno de la ciencia puede llamarse *metaciencia*, y es a su vez parte de la teoría del conocimiento (epistemología).

La metaciencia puede dividirse en tres partes: la *lógica* (sintaxis y semántica) de la ciencia, ocupada por problemas como el de la estructura de las teorías fácticas y la relevancia empírica, si la tienen, de los conceptos empíricos; la *metodología* de la ciencia, que trata del método general de la ciencia y de las técnicas que lo complementan, como, por ejemplo, la obtención de muestras al azar; y la *filosofía* de la ciencia, que estudia los supuestos y resultados –si los tiene– lógicos, epistemológicos, ontológicos y éticos de la investigación científica. Estos campos problemáticos tienen sus raíces en el pasado, pero no se han planteado científicamente hasta hace poco tiempo. Además, su progreso es hasta ahora muy desigual: mientras que la lógica formal de la ciencia, particularmente la sintaxis de las teorías, es una ciencia exacta, en cambio la metodología y la filosofía de la ciencia siguen limitadas esencialmente a la descripción y al análisis de la ciencia, y sólo de vez en cuando consiguen establecer teorías propias, como la de la probabilidad de las hipótesis; y, aun en estos casos, tales teorías suelen aplicarse a modelos supersimplificados de la ciencia, más que a la ciencia real. En resolución: la metaciencia sigue siendo esencialmente una *protociencia, y* no una ciencia plenamente desarrollada: adopta el planteamiento científico, pero, hasta el momento, ha producido pocos resultados científicos.

En todo caso, podemos afirmar que además de la ciencia *tout court,* contamos con la ciencia de la ciencia:



En conclusión: por limitado que pueda ser el resultado del enfoque científico, no conocemos que tenga limitaciones *intrínsecas* y, además, esas limitaciones no pueden estimarse correctamente sino desde dentro de la ciencia misma: puede colocarse bajo el dominio de la ciencia toda la naturaleza y toda la cultura, incluida la ciencia misma. Sin duda hay temas que hasta el momento no han sido abordados científicamente –por ejemplo, el amor–, ya sea porque nadie ha notado aún su existencia, ya sea porque no han atraído la curiosidad de los investigadores, y, por último, porque circunstancias externas, como el prejuicio –por ejemplo, la idea de que ciertas experiencias humanas no pueden ser objeto de planteamiento científico, sino que tienen que mantenerse siempre en la esfera privada– han impedido su consideración científica. Tales ideas y prejuicios tienen en su favor no sólo el peso de la tradición, sino también una errónea concepción de la ciencia, la mayor parte de las veces su incorrecta identificación con la física. Estos prejuicios son algunos de los últimos bastiones del obscurantismo; se están hundiendo, ciertamente, con rapidez: empezamos a tener estudios científicos de la experiencia estética y hasta de las sutiles manipulaciones de que es objeto la mente del hombre por obra de anacrónicas ideologías como es, precisamente, la que se opone al estudio científico del objeto hombre.

Los éxitos del enfoque científico, así como su independencia respecto del tema en estudio en cada caso, dan razón de la potencia expansiva de la ciencia, la cual ocupa ahora territorios antes cubiertos por disciplinas humanísticas –por ejemplo, la antropología y la psicología especulativas filosóficas– y está continuamente explorando territorios nuevos. Los mismos factores dan también razón de la creciente importancia de la ciencia en la cultura moderna. Desde el Renacimiento, el centro de la cultura ha ido pasando cada vez más visiblemente desde la religión, el arte y las humanidades clásicas hacia la ciencia, la formal y la fáctica, la pura y la aplicada. Y no se trata sólo de que los resultados intelectuales de la ciencia y sus aplicaciones para fines buenos y malos hayan sido reconocidos hasta por el pintor menos formado culturalmente: hay un cambio aún más importante y agradable, que consiste en la difusión de una *actitud* científica respecto de los problemas del conocimiento y respecto de problemas cuya adecuada solución requiera algún conocimiento, aunque en sí mismos no sean problemas teoréticos. Esto no quiere decir que la ciencia está absorbiendo gradualmente toda la experiencia humana y que vayamos a terminar por amar y odiar científicamente, igual que podemos ya curar y matar científicamente. No: salvo la investigación científica misma, las experiencias humanas no son científicas, ni siquiera cuando se benefician del conocimiento científico; lo que puede y debe ser científico es el estudio de toda esa experiencia, que en sí no lo es.

Podemos esperar de una amplia difusión de la actitud científica –pero no de una divulgación de algunos meros resultados de la investigación– cambios importantes de concepción y comportamiento individual y colectivo. La adopción universal de una actitud científica puede hacernos más sabios: nos haría más cautos, sin duda, en la recepción de información, en la admisión de creencias y en la formulación de previsiones; nos haría más exigentes en la contrastación de nuestras opiniones, y más tolerantes con las de otros; nos haría más dispuestos a inquirir libremente acerca de nuevas posibilidades, y a eliminar mitos consagrados que sólo son mitos; robustecería nuestra confianza en la experiencia, guiada por la razón, y nuestra confianza en la razón contrastada por la experiencia; nos estimularía a planear y controlar mejor la acción, a seleccionar nuestros fines y a buscar normas de conducta coherentes con esos fines y con el conocimiento disponible, en vez de dominadas por el hábito y por la autoridad; daría más vida al amor de la verdad, a la disposición a reconocer el propio error, a buscar la perfección y a comprender la imperfección inevitable; nos daría una visión del mundo eternamente joven, basada en teorías contrastadas, en vez de estarlo en la tradición, que rehúye tenazmente todo contraste con los hechos; y nos animaría a sostener una visión realista de la vida humana, una visión equilibrada, ni optimista ni pesimista. Todos esos efectos pueden parecer remotos y hasta improbables, y, en todo caso, nunca podrán producirlos los científicos por sí mismos: una actitud científica supone un adiestramiento científico, que es deseable y posible sólo en una sociedad programada científicamente. Pero algo puede asegurarse: que el desarrollo de la importancia relativa de la ciencia en el cuerpo entero de la cultura ha dado ya de sí algunos frutos de esa naturaleza, aunque a escala limitada, y que el programa es digno de esfuerzo, especialmente teniendo en cuenta el éxito muy escaso de otros programas ya ensayados.

Para terminar: el planteamiento científico no tiene limitaciones intrínsecas conocidas; se encuentra en un proceso de rápida expansión y está consiguiendo en medida creciente

imágenes parciales del mundo externo y del mundo interno al hombre, las cuales son cada vez más verdaderas; y ello por no hablar de las herramientas que está suministrando para el dominio de dicho mundo. (Si alguien sostuviera que el planteamiento científico tiene limitaciones intrínsecas, le pediríamos que fundamentara su afirmación. ¿Cómo? Llevando a cabo él mismo una investigación científica acerca de ese problema.) En virtud de su poder espiritual y de sus frutos materiales, la ciencia ha llegado a ocupar el centro de la cultura moderna, lo que no quiere decir sin más el centro de la cultura de nuestros días. Sería, en efecto, insensato olvidar que, en paralelismo con la cultura superior, subsiste una cultura popular o étnica, y que la pseudociencia ocupa en la cultura urbana popular contemporánea una posición análoga a la que ocupa la ciencia en la cultura superior. Resultará instructivo y entretenido echar un vistazo a todo eso que a menudo se pasa de contrabando bajo la etiqueta de ciencia, aunque carece del método y del objetivo de la ciencia. Pasaremos ahora a ese tema, la ciencia popular.

Problemas

1.5.1. Establecer una distinción entre los objetivos de la ciencia y los de científicos individuales. que pueden ser el lograr fama, poder y riqueza. Explicar por qué individuos animados por fines puramente egoístas pueden prestar importantes aportaciones a la ciencia pura (desinteresada).

1.5.2. ¿Nos permite la objetividad de la investigación científica inferir que es algo impersonal? Si no, o sea, si la investigación complica a la persona entera, incluso cuando se realiza en equipo, ¿se sigue de ello que no pueda conseguir la verdad objetiva, que la objetividad de la ciencia es mítica, como han sostenido algunos autores? Cf. problema 1.1.2, R. K. Merton, *The Sociology of Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1973, y M. Polanyi, *Personal Knowledge*, Chicago University of Chicago Press, 1959.

1.5.3. Los asuntos de administración y gerencia de empresas, la publicidad, el arte de la guerra, pueden llevarse a cabo empíricamente (del modo tradicional) o científicamente, es decir, con la ayuda de especialistas que disponen de conocimiento científico y adoptan una actitud científica. ¿Son en ese caso ciencias tales actividades? Caso afirmativo, ¿por qué? Caso de respuesta negativa, ¿qué es lo que les falta?

1.5.4. ¿Es el conocimiento científico un medio o un fin? Empezar por completar esta pregunta: medio y fin son miembros de una relación triádica que supone también un sujeto. *Problema en lugar del anterior*: los medios y los fines se presentan a pares. Si se cambia el objetivo, hay que cambiar los medios. Aplicar esto a la idea de investigar problemas teológicos con el método científico.

1.5.5. Desarrollar e ilustrar la tesis de que la ciencia se corrige a sí misma, o sea, de que se critica y mejora desde dentro. *Problema en lugar de ése*: un tal carácter de la ciencia, ¿hace que la crítica filosófica sea inadecuada o ineficaz?

1.5.6. Describir y ejemplificar análisis científicos de los dos géneros, *factuales* (químicos, por ejemplo) y *conceptuales* o teoréticos (por ejemplo, el análisis o descomposición de fuerzas en componentes imaginarias a lo largo de ejes coordenados).

1.5.7. ¿En qué sentidos es analítica la ciencia: lógicamente, metodológicamente u ontológicamente? (*Analiticidad lógica*: la propiedad que tiene un enunciado de ser determinable como verdadero o falso sin más ayuda que el análisis de su estructura lógica o de las significaciones de sus términos. *Analiticidad metodológica*: la característica de un procedimiento que consiste en descomponer, material o mentalmente, el objeto al que se aplica, en vez de dejarlo entero: un tal

análisis puede buscar partes, propiedades o relaciones. *Analiticidad ontológica* o *metafísica*: la doctrina según la cual el mundo es un agregado de hechos atómicos, es decir, irreducibles e independientes unos de otros.)

1.5.8. Desarrollar la tesis de que una síntesis conceptual científica no es independiente del análisis, sino más bien un resultado de éste. *Problema en lugar de ése*: ¿Es la historia una ciencia o una protociencia?

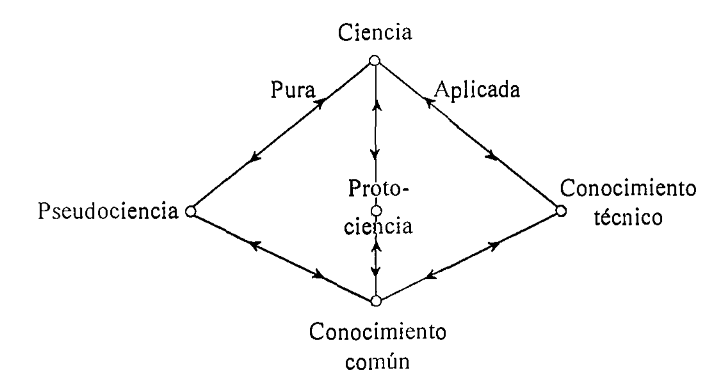
1.5.9. Examinar las siguientes tesis relativas a la unidad de la ciencia: (*i*) La unidad de la ciencia estriba en su objeto, la realidad. (*ii*) La unidad de la ciencia estriba en su objetivo, a saber, narrar la historia de lo que existe. (*iii*) La unidad de la ciencia consiste en tener –o aspirar a– un único lenguaje, ya sea un lenguaje de datos sensibles (sensismo o sensacionalismo), ya un lenguaje de la observación (empirismo), ya el lenguaje de la matemática (pitagoreísmo). (*iv*) La unidad de la ciencia consiste en la reducción última de toda ciencia factual a la física (fisicalismo). (*v*) La unidad de la ciencia estriba en su unicidad de planteamiento (método y objetivos). *Problema en lugar de ése*: Discutir las siguientes afirmaciones (en conflicto) sobre el objetivo de la ciencia factual: (*i*) El objetivo de la ciencia es la adaptación completa de nuestro pensamiento a nuestras experiencias (el físico E. Mach). (*ii*) El objetivo de la ciencia es la creación de una visión del mundo completamente independiente del investigador (el físico M. Planck). *Problema en lugar de ése*: Comentar la "Declaration of Interdependence in Science" [Declaración de la Interdependencia de las Ciencias], *Science*, 111, 500 (1950), texto en el cual se formulan la unidad de método y de objetivo de todas las ciencias.

1.5.10. Explicar por qué se siguen enseñando, al mismo tiempo que las correspondientes ciencias (puras o aplicadas), la antropología filosófica, y la psicología filosófica.

1.6. PSEUDOCIENCIA

El conocimiento ordinario puede desarrollarse en alguna de las tres direcciones siguientes: (*i*) *Conocimiento técnico*: es el conocimiento especializado, pero no-científico, que caracteriza las artes y las habilidades profesionales. (*ii*) *Protociencia*, o ciencia embrionaria, que puede ejemplificarse por el trabajo cuidadoso, pero sin objeto teorético, de observación y experimentación. (*iii*) *Pseudociencia*: un cuerpo de creencias y prácticas cuyos cultivadores desean, ingenua o maliciosamente, dar como ciencia, aunque no comparte con ésta ni el planteamiento, ni las técnicas, ni el cuerpo de conocimientos. Pseudociencias aún influyentes son, por ejemplo, la de los zahoríes, la investigación espiritista y el psicoanálisis.

No carece la ciencia de relaciones con el conocimiento técnico, la protociencia y la pseudociencia. En primer lugar, la ciencia utiliza las habilidades artesanas, las cuales, a su vez, se enriquecen frecuentemente gracias al conocimiento científico. En segundo lugar, la ciencia utiliza algunos de los datos en bruto conseguidos por la protociencia, aunque muchos de ellos son inútiles por irrelevantes. En tercer lugar, a veces una ciencia ha nacido de una pseudociencia, y en ocasiones una teoría científica ha cristalizado en dogma hasta el punto de dejar de corregirse a sí misma y convertirse en una pseudociencia. Dicho breve y esquemáticamente, pueden considerarse las siguientes líneas de comunicación entre la ciencia y esas vecinas suyas:



¿Qué es lo malo de la pseudociencia? No sólo ni precisamente el que sea básicamente falsa, puesto que todas nuestras teorías factuales son, a lo sumo, parcialmente verdaderas. Lo malo de la pseudociencia es, en primer lugar, que se niega a *fundamentar* sus doctrinas y que no puede, además, hacerlo porque rompe totalmente con nuestra herencia científica –cosa que, por cierto, no ocurre en las revoluciones científicas, todas las cuales son parciales, puesto que toda nueva idea tiene que estimarse por medio de otras que no se ponen en discusión en el contexto dado. En segundo lugar, que la pseudociencia se niega a *someter a contraste* sus doctrinas mediante la experimentación propiamente dicha; además, la pseudociencia es en gran parte incontrastable, porque tiende a interpretar todos los datos de modo que sus tesis queden confirmadas ocurra lo que ocurra; el pseudocientífico, igual que el pescador, exagera sus presas y oculta o disculpa todos sus fracasos. En tercer lugar, que la pseudociencia carece de *mecanismo autocorrector*: no puede aprender nada ni de una nueva información empírica (pues se la traga sin digerirla), ni de nuevos descubrimientos científicos (pues los desprecia), ni de la crítica científica (pues la rechaza con indignación). La pseudociencia no puede progresar porque se las arregla para interpretar cada fracaso como una confirmación, y cada crítica como si fuera un ataque. Las diferencias de opinión entre sus sectarios, cuando tales diferencias se producen, dan lugar a la fragmentación de la secta, y no a su progreso. En cuarto lugar, el objetivo primario de la pseudociencia no es establecer, contrastar y corregir sistemas de hipótesis (teorías) que reproduzcan la realidad, sino influir en las cosas y en los seres humanos: como la magia y como la tecnología, la pseudociencia tiene un objetivo *primariamente práctico*, no cognitivo, pero, a diferencia de la magia, se presenta ella misma como ciencia y, a diferencia de la tecnología, no goza del fundamento que da a ésta la ciencia.

Nuestro primer ejemplo de pseudociencia puede ser el arte de los zahoríes o, más en general, la *rabdomancia.* La tesis de la rabdomancia es que ciertos individuos particularmente sensibles pueden percibir inconsciente y directamente las heterogeneidades subterráneas, como minas o yacimientos de agua o petróleo. La técnica de la rabdomancia consiste en usar una varilla de avellano, castaño, etc., o un péndulo como indicador de aquella sensibilidad. Esquemáticamente, la estructura sería: Accidente Geológico → Recepción Inconsciente → Movimientos Involuntarios del Cuerpo → Oscilaciones del Pén-

dulo → Percepción de las Oscilaciones. Algunos zahoríes modernos sostienen que el primer eslabón de la cadena puede ser también un tumor canceroso o una avería de un motor de automóvil.

¿Qué es lo malo de la rabdomancia? En primer lugar, ni la tesis ni la técnica de la rabdomancia están *fundamentadas* en el cuerpo del conocimiento científico, según el cual, más bien, es imposible una acción directa de los cuerpos físicos en los estados mentales: se necesitan un agente físico y su acción sobre un mecanismo biológico, por la simple razón de que las funciones mentales son propias de sistemas nerviosos altamente desarrollados. Por otro lado, las técnicas corrientes de prospección geológica (por ejemplo, la producción artificial de ondas sísmicas) se basan en leyes físicas bien conocidas: el mecanismo de su operación es conocido, razón por la cual se las considera dignas de confianza. En segundo lugar, la tesis de la rabdomancia es *incontrastable*, o casi, por cada una de las dos razones siguientes: *a*] esa tesis no supone ni un mecanismo determinado ni una determinada ley, de modo que es difícil averiguar qué es lo que puede discutirse, convalidarse o refutarse, y qué experimentos podrían falsar la tesis; *b*] si el zahorí hace una previsión correcta, por ejemplo, descubriendo una vena subterránea de agua, se considera confirmada su tesis; pero si fracasa al señalar la presencia de agua, defenderá su fe diciendo que hay agua, lo que pasa es que está más abajo del alcance de la perforadora, o bien admitiendo humildemente que ha sido víctima de un error subjetivo: ha considerado, por ejemplo, indicadores meros síntomas de cansancio o nerviosismo. No hay geólogo que pueda alcanzar nunca tal confirmación de sus tesis al cien por cien.

Obsérvese que la experiencia es irrelevante para la refutación de la rabdomancia. En primer lugar, porque esa fe es empíricamente incontrastable. En segundo lugar, porque un zahorí que tenga un conocimiento descriptivo del terreno puede ser superior a un geólogo que no cuente más que con instrumentos científicos y leyes científicas, pero no tenga aún suficiente conocimiento de la localidad. Por tanto, o bien no se puede discutir la rabdomancia, o bien hay que decidir a su respecto mediante una argumentación metacientífica, mostrando que sus tesis y su técnica no son ni fundadas ni contrastables, dos requisitos de las ideas y los procedimientos científicos.

Nuestro segundo ejemplo es la *parapsicología*, o investigación psíquica, que son nombres modernos del espiritismo, la actividad de los media, la cartomancia y otras arcaicas creencias y prácticas. Esta doctrina sostiene la existencia de ciertos fenómenos como la telepatía (transmisión del pensamiento), la videncia a distancia, la videncia del futuro y la telequinesis (la causación mental de fenómenos físicos). La psicología atribuye esos supuestos hechos a una percepción extrasensorial (ESP: *extrasensory perception*) y a otras capacidades supra-normales que no pretende explicar. La parapsicología es bastante ambigua no sólo porque trata de entidades no-físicas (como los fantasmas) y acontecimientos no-físicos (como la telepatía), sino también porque no ofrece afirmaciones detalladas –que serían contrastables de un modo preciso– acerca de mecanismos de acción o regularidades; pero eso precisamente la hace máximamente sospechosa para el metacientífico crítico. Aclaremos esa sospecha.

En primer lugar, los parapsicólogos no formulan ni tratan sus tesis *como hipótesis*, esto es, como supuestos corregibles relativos a acontecimientos no percibidos: al llamar a las supuestas anomalías, desde el primer momento, casos de percepción extrasensorial,

el parapsicólogo se compromete ya *a priori* a sostener un determinado supuesto que luego intentará a toda costa ilustrar en vez de estimar. En segundo lugar, las tesis de la investigación psíquica están *formuladas laxamente* y tienen *poco contenido*: son meras afirmaciones acerca de la existencia de ciertos acontecimientos raros, sin precisión acerca del posible mecanismo de la producción, la propagación y la recepción de los mensajes psíquicos. Desde luego, el parapsicólogo no puede aceptar mecanismo físico alguno, pues esto colocaría automáticamente todo el tema en el campo de investigación de la física y de la psicología: cuando se ofrecen explicaciones de los supuestos fenómenos a base de sugestiones sub-liminares (por debajo del umbral consciente) o de nuevas ondas especiales que hubiera que descubrir, se está desenfocando con la mejor intención la verdadera naturaleza de la parapsicología. La única "interpretación" de las supuestas anomalías que puede admitir un parapsicólogo es que se trata de hechos no-físicos y no-normales: en cuanto que intenta ser más preciso, arriesga la refutación inmediata.

En tercer lugar, las vagas tesis de la parapsicología son *no-naturalistas* y *no-fundadas*. Aún más: están en abierta colisión con el conocimiento científico. Este último, en efecto, sugiere hasta hoy las siguientes generalizaciones: (*i*) no hay acontecimiento que carezca de base física; (*ii*) el espíritu no es una sustancia "muy sutil" que pueda abandonar el cuerpo, propagarse en el espacio y obrar en la materia; "espíritu" es simplemente el nombre de un complejo sistema de funciones o estados del sistema nervioso; (*iii*) ningún efecto preexiste a su causa, y, en particular, ningún mensaje puede recibirse antes de que sea emitido, como exige la profecía. La inconsistencia de la ESP con la ciencia le sustrae todo apoyo empírico, porque la información empírica sola no constituye evidencia de ninguna clase: para que un dato se convierta en evidencia en favor o en contra de una hipótesis científica, tiene que ser interpretado a la luz de algún conjunto de teorías. Y puesto que la parapsicología carece completamente de teoría, tiene que aceptar la interpretación de los hechos propuesta por la ciencia normal: mas como la ESP impugna la competencia de esta última para tratar las supuestas anomalías que ella estudia, no puede aceptar dato alguno, ni siquiera los que ella misma recoge. En resolución, la ESP no puede presentar evidencia alguna en su favor.

En cuarto lugar, se ha probado numerosas veces que las observaciones y los experimentos realizados por los parapsicólogos son *metodológicamente inaceptables*: (*i*) de muchos de ellos se ha mostrado que eran lisa y llanamente fraudes; (*ii*) ninguno de ellos es repetible, por lo menos en presencia de personas que no compartan la fe del parapsicólogo, y hay bastante desacuerdo entre los parapsicólogos mismos por lo que hace al enunciado de los meros "hechos"; (*iii*) los parapsicólogos tienden a ignorar la evidencia en contra; lo hacen, por ejemplo, seleccionando series favorecidas y deteniendo el experimento en cuanto que reaparece la distribución casual; (*iv*) los parapsicólogos suelen aplicar mal la estadística; por ejemplo, cuando la aplican a muestras que no son casuales (sino subsecuencias seleccionadas de los ensayos) como si fueran estrictamente casuales, del mismo modo, prácticamente, que los vitalistas refutan el materialismo mostrando lo pequeña que es la probabilidad de que un organismo surja espontáneamente del encuentro "casual" de miríadas de átomos.

En quinto lugar, aunque las tesis de la parapsicología son, tomadas una a una, contrastables –aunque a duras penas–, los parapsicólogos tienden a combinarlas de tal modo

que el *conjunto sea insusceptible de contrastación*, y, por lo tanto, inmune a cualquier crítica sobre la base de la experiencia: en cuanto que una serie de pruebas resulta caer muy por debajo de lo meramente probable, enseguida sostienen que el sujeto está cansado, o que se resiste a creer, o hasta que ha perdido su capacidad paranormal, la cual, por cierto, no tiene relación alguna con otras capacidades, de tal modo que sólo se manifiesta cuando se dan resultados por encima de lo probable, y nunca por el análisis de la personalidad, por no hablar ya de la investigación neurofísica; si el sujeto no lee la carta o mensaje que debía leer según el parapsicólogo, sino la carta o mensaje siguiente de una secuencia, el parapsicólogo declara que ese sujeto presenta el fenómeno de desplazamiento anterior, que se interpreta a su vez como un claro caso de profecía; y si no consigue mover el dado o tocar la trompeta a distancia, el parapsicólogo dictamina una inhibición momentánea o, caso necesario, la pérdida final de la capacidad del sujeto. De este modo se consigue que el conglomerado de las tesis parapsicológicas sea inatacable y, al mismo tiempo, que las técnicas científicas de contrastación resulten irrelevantes.

En sexto lugar, la parapsicología es culpable de no haber conseguido, en 5 000 años de existencia, mostrar *una sola regularidad empírica*, por no hablar ya de leyes sistematizadas en una teoría. La parapsicología no ha conseguido enunciar ni hechos seguros ni leyes; ni siquiera puede decirse que sea una joven teoría aún no sometida a contrastación, pero prometedora: simplemente, no es una teoría, pues las pocas tesis de la doctrina son ambiguas y se usan para fines de defensa recíproca contra las críticas, no para derivar lógicamente consecuencias contrastables. Dicho de otro modo: la investigación psíquica no ha conseguido nunca alcanzar el objetivo de la ciencia, ni lo ha deseado jamás.

Nuestro último ejemplo de pseudociencia será el *psicoanálisis,* al que no hay que confundir con la psicología ni con la psiquiatría (la tecnología asociada a la psicología). El psicoanálisis pretende ser una teoría y una técnica terapéutica. Como teoría sería aceptable si se mostrara que es suficientemente verdadera; como técnica, si se mostrara que es suficientemente eficaz. Pero para poder sostener la pretensión de verdad o la pretensión de eficiencia, un cuerpo de ideas y prácticas tiene que someterse él mismo a los cánones de desarrollo de la ciencia pura y aplicada, por lo menos si desea ser tomado por una ciencia. Ahora bien, el psicoanálisis no consigue pasar las pruebas de cientificidad.

En primer lugar, las tesis del psicoanálisis son *ajenas a la psicología, la antropología y la biología, a menudo incompatibles con ellas.* Por ejemplo: el psicoanálisis es ajeno a la teoría del aprendizaje, el capítulo más adelantado de la psicología. La hipótesis de una memoria racial inconsciente no tiene apoyo alguno en genética; la afirmación de que la agresividad es instintiva y universal se contradice con la etología y la antropología; la hipótesis de que todo hombre acarrea un complejo de Edipo está en contradicción con los datos de la antropología. Esto no sería grave si se tratara de puntos secundarios de la doctrina; pero son puntos importantes y, sobre todo, el psicoanálisis no puede apelar a la ciencia para eliminar esas partes de su doctrina, porque se presenta como una ciencia rival e independiente.

En segundo lugar, algunas hipótesis psicoanalíticas son *incontrastables*; por ejemplo, las de la sexualidad infantil, la existencia de entidades desencarnadas dentro de la personalidad (el id, el ego, el superego), y del sueño como significativo de la vuelta al seno materno.

En tercer lugar, las tesis psicoanalíticas que son contrastables han sido ilustradas, pero nunca realmente *contrastadas* por los psicoanalistas con la ayuda de las técnicas corrientes de contrastación; en particular, la estadística no desempeña papel alguno en el psicoanálisis. Y cuando han sido psicólogos científicos los que han sometido esas tesis a contrastación, el resultado ha sido un fracaso. Ejemplos: (*i*) la conjetura de que todo sueño es la satisfacción de un deseo ha sido contrastada preguntando a sujetos con necesidades urgentes y objetivamente conocidas, como la sed, el contenido de sus sueños; resultado: hay muy escasa correlación entre las necesidades y los sueños. (*ii*) Según la hipótesis de la catarsis, la contemplación de films que exponen comportamientos violentos debería tener como resultado una descarga de agresividad; la experimentación científica ha mostrado el resultado contrario (R. H. Walters y otros científicos, 1962). (*iii*) Estudios sistemáticos y tenaces (W. H. Sewell, 1952, y M. A. Strauss, 1957) han destruido la tesis psicoanalítica de que existe una correlación relevante entre las primeras costumbres de alimentación y excreción, por un lado, y rasgos de la personalidad por otro. (*iv*) Formando grupos para estimar la influencia de la terapéutica psicoanalítica en la neurosis, no se ha encontrado influencia favorable alguna, pues el porcentaje de curaciones estaba algo por debajo del porcentaje de curaciones espontáneas (resultados de H. H. W. Miles y otros experimentadores, 1951, de H. J. Eysenck, 1952, y de E. E. Levitt, 1957); en cambio, la técnica científica de recondicionamiento tiene éxito en la mayoría de los casos (J. Wolpe, 1958).

En cuarto lugar, aunque algunas conjeturas psicoanalíticas son, tomadas aisladamente, contrastables, y lo han sido, como acabamos de ver, en cambio, *no son cotrastables tomadas como cuerpo total.* Por ejemplo: si el análisis del contenido de un sueño no muestra que ese sueño es la satisfacción imaginaria de un deseo, el psicoanalista sostendrá que eso sólo prueba que el sujeto ha reprimido enérgicamente su deseo, el cual está por tanto más allá del control del terapeuta; análogamente, ante una persona que no presente complejo de Edipo, el psicoanalista dirá que lo tiene muy reprimido, tal vez por el temor a la castración. Y de esta manera las diversas tesis, los diversos miembros de la banda, se protegen los unos a los otros, y la doctrina en su conjunto resulta inatacable por la experiencia.

En quinto lugar, el psicoanálisis, además de eliminar por absorción indiscriminada toda evidencia que normalmente (en la ciencia) sería considerada desfavorable, *se resiste a la crítica.* Y hasta la elimina mediante el argumento *ad hominem* según el cual el crítico está manifestando el fenómeno de resistencia, y confirmando así la hipótesis psicoanalítica sobre ese fenómeno. Ahora bien: si ni la argumentación ni la experiencia pueden resquebrajar una doctrina, entonces esa doctrina es un dogma, no una ciencia. Las teorías científicas, lejos de ser perfectas, son, o bien fracasos que se olvidan, o bien construcciones perfectibles, y por tanto corregidas en el curso del tiempo.

Eso puede completar nuestra esquemática exposición de las *mancias* que quieren ser tomadas como ciencias. Por varias razones son de desear análisis metacientíficos más detallados de la pseudociencia. En primer lugar, para ayudar a las ciencias jóvenes –especialmente a la psicología, la antropología y la sociología– a eliminar creencias pseudocientíficas. En segundo lugar, para ayudar a la gente a tomar una actitud crítica en lugar de la credulidad aún corriente. En tercer lugar, porque la pseudociencia es un buen terreno de prueba para la metaciencia y, en particular, para los criterios que caracterizan a la

ciencia distinguiéndola de la no-ciencia: las doctrinas metacientíficas deberían estimarse, entre otras cosas, por la cantidad de sin-sentido que autorizan.

Por lo demás, la pseudociencia ofrece muy poca cosa a la ciencia contemporánea. Puede valer la pena poner a prueba alguna de sus conjeturas no contrastadas, si es que son contrastables; algunas de ellas pueden, después de todo, tener algún elemento de verdad, y hasta el establecer que son falsas significará cierta adquisición de conocimiento.

Pero el problema más importante planteado a la ciencia por la pseudociencia es el siguiente: ¿cuáles son los mecanismos psíquicos y sociales que han permitido sobrevivir hasta la edad atómica a supersticiones arcaicas, como la fe en la profecía y la fe en que los sueños dicen la verdad oculta? ¿Por qué no se desvanecen las supersticiones y sus exuberantes desarrollos, las pseudociencias, en cuanto se demuestra la falsedad de su lógica, de su metodología demasiado ingenua o maliciosa, y de sus tesis, incompatibles con los mejores datos y las mejores teorías de que dispone la ciencia?

Problemas

1.6.1. Los pseudocientíficos suelen hacer la propaganda de su saber indicando que tal o cual científico o filósofo cree en él. ¿Qué tipo de argumentación es ésta? ¿Constituye eso una prueba de la pseudociencia así presentada, o más bien es una indicación acerca de la actitud científica del pensador que se cite?

1.6.2. ¿Por qué no aparecen nunca fantasmas en Piccadilly Circus ni en Times Square? ¿Por qué los astrólogos no repasan nunca sus anteriores profecías para calcular el porcentaje de aciertos? ¿Por qué sus intuiciones son por de pronto razonables, es decir, tales que puede hacerlas cualquier persona bien informada? ¿Por qué no utilizan los psicoanalistas las técnicas estadísticas de control de sus hipótesis? ¿Sólo porque no las dominan? ¿Por qué no anuncian los curanderos la frecuencia de sus supuestas curaciones, en vez de dar su número total? ¿Por qué los parapsicólogos y los psicoanalistas no enuncian predicciones precisas?

1.6.3. Presentar una reseña de cada una de las obras siguientes sobre psicoanálisis: H. J. Eysenck, "Psychoanalysis: Myth or Science?", *Inquiry*, 1, 1, 1961. H. J. Eysenck, ed., *Handbook of Abnormal Psychology*, Londres, Pitman Medical Publishing Co., 1960, cap. 18. E. Nagel. "Methodological Issues in Psychoanalytic Theory", en S. Hook (ed.), *Psychoanalysis, Scientific Method and Philosophy*, Nueva York, New York University Press, 1959. W. H. Sewall, "Infant Training and the Personality of the Child", *American Journal of Sociology*, LVIII, 150, 1952. J. Wolpe, *Psychotherapy by Reciprocal Inhibition*, Stanford, Stanford University Press, 1958. L. Berkowitz, *Aggression*, Nueva York, McGraw-Hill, 1962. *Problema en lugar del anterior*: reseñar los escritos aludidos en el texto, localizándolos en los *Psychological Abstracts*.

1.6.4. Presentar un informe sobre algunos de los artículos contenidos en P. Kurtz (comp.), *A Skeptic's Handbook of Parapsychology*, Buffalo, NY: Prometheus Book, 1985. *Problema en lugar del anterior*: Redáctese una reseña crítica de los artículos aparecidos en *The Skeptical Inquirer* acerca de alguna de las pseudociencias.

1.6.5. ¿Pueden perfeccionarse la parapsicología y el psicoanálisis mediante una formulación más precisa de sus hipótesis, una organización lógica mejor y más datos empíricos, como frecuentemente sostienen sus partidarios menos fanáticos?

1.6.6. Examinar la opinión de P. K. Feyerabend, en *Contra el método* (Madrid, Tecnos, 1979), de que no hay diferencia entre ciencia y pseudociencia: de que "todo vale".

1.6.7. Comentar alguno de los enunciados siguientes: (*i*) S. Freud, *Introductory Lectures on Psychoanalysis*, 2a. ed., Londres, Allen & Unwin, 1929, p. 16: el psicoanálisis "tiene que abandonar toda concepción previa, anatómica, química o fisiológica, y tiene que trabajar siempre con concepciones de orden puramente psicológico". (*ii*) R. H. Thouless, citado por S. G. Soal y F. Bateman, *Modern Experiments in Telepathy*, Londres, Faber and Faber, y New Haven, Conn., Yale University Press, 1954, p. 357: "Querría indicar que el descubrimiento de los fenómenos *psi* nos ha llevado a un punto [...] en el cual tenemos que poner en tela de juicio teorías básicas, porque ellas nos imponen expectativas contradichas por los resultados experimentales [...] tenemos que estar dispuestos a discutir todas nuestras viejas concepciones y a desconfiar de todos nuestros hábitos mentales." *Problema en lugar de ése*: ¿En qué difieren las pseudociencias de las normales herejías científicas?

1.6.8. Realizar un análisis metacientífico de las siguientes doctrinas: frenología, grafología, homeopatía, osteopatía, *Rassenkunde* [la teoría alemana del racismo]. Averiguar si todas ellas comparten el método y el objetivo de la ciencia. *Problema en lugar de ése*: Realizar un estudio de las curaciones milagrosas (por la fe, la confesión, la logoterapia, los remedios de curandero, etc.) y de su especial lógica. Mostrar, en particular, si suponen (*i*) la falacia del *post hoc, ergo propter hoc* (después de, luego por causa de); (*ii*) la ignorancia de otras hipótesis posibles (como la sugestión, por ejemplo); (*iii*) la ignorancia de casos desfavorables o su conversión en casos favorables mediante el añadido de hipótesis *ad hoc* (por ejemplo, explicando el fracaso por sortilegios o por falta de fe).

1.6.9. ¿Qué hay que examinar para averiguar si una determinada doctrina es científica o no lo es? ¿Su uso de una jerga especial? ¿Su uso de procedimientos empíricos (como la observación)? ¿Su aparente éxito práctico? ¿La cantidad y calidad de sus seguidores? ¿O los métodos que usa, su continuidad con el cuerpo de la ciencia y su objetivo?

1.6.10. La homeopatía afirma que cura con ciertos productos naturales altamente diluidos. Al calcular la concentración de una medicina homeopática se halla una cifra del orden de una molécula por centímetro cúbico. ¿Basta esto para dejar de lado la homeopatía, o es necesario someterla a experimentación? En cualquier caso, ¿qué tipo de argumentación sería el usado? Problema en lugar de ése: estudiar la psicología de la credulidad.

BIBLIOGRAFÍA

Ackoff, R. L., *Scientific Method: Optimizing Applied Research Decisions*, Nueva York y Londres, John Wiley & Sons, Inc., 1962, cap. 1.

Bunge, M., *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas Publisher, 1959, cap. 1-3.

——, *Method, Model, and Matter*, Dordrecht, Reidel, 1973.

——, *Ciencia, técnica y desarrollo*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997.

——, *Exploring the World*, Dordrecht, Reidel, 1983.

Conant, J. B., *On Understanding Science*, New Haven, Conn., Yale University Press, 1947.

Churchman, C. W., R. L. Ackoff y E. L. Arnoff, *Introduction to Operations Research*, Nueva York, Londres, John Wiley & Sons, Inc., 1957, Cap. 1.

Feyerabend, P. K., *Contra el método*, Madrid, Tecnos, 1979.

Gardner, M., *Fads and Fallacies*, Nueva York, Dover Publications, 1957.

——, *Science: Good, Bad and Bogus*, Oxford, Oxford University Press, 1983.

Gellner, E., *The Psychoanalytic Movement*, 2a. ed., Londres, Fontana Press, 1993.
Gross, P. R., N. Levitt y M. W. Lewis (comps.), *The Flight from Reason and Science*, Nueva York, New York Academy of Siences, 1996.
Mehlberg, H., *The Reach of Science*, Toronto, Toronto University Press, 1958, parte II.
Merton, R. K., *The Sociology of Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1973.
Nagel, E., *The Structure of Science*, Nueva York, Harcourt, Brace & World, 1961.
Nash, L. K., *The Nature of the Natural Sciences*, Boston, Little, Brown and Co., 1963.
Popper, K. R., *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos, 1962.
——, *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963.
Wilson, E. B. Jr., *An Introduction to Scientific Research*, Nueva York, McGraw-Hill, 1952, cap. 3.
Wolpert, L., *The Unnatural Nature of Science*, Londres, Faber and Faber.

2. CONCEPTO

A diferencia de las pautas innatas de comportamiento y de las artesanías, el conocimiento científico es predominantemente *conceptual*: consta de sistemas de conceptos interrelacionados de determinados modos. (Ejemplo de concepto: "mayor que". Ejemplo de sistema conceptual: "El laurencio tiene un peso atómico mayor que el del nobelio". Ejemplo de sistema conceptual de orden superior: la teoría de la estática.) En cambio, la investigación científica cuenta con habilidades que no están conceptualizadas sino en parte: el saber práctico de laboratorio y de campo, y hasta habilidades utilizadas en la manipulación de conceptos.

El concepto es la unidad de pensamiento; por eso la teoría de los conceptos debería ser el equivalente filosófico de la teoría atómica. Los conceptos, al igual que los átomos materiales, no son datos de la experiencia, sino que hay que buscarlos mediante el análisis. ¿Análisis de qué? Sin duda de las expresiones lingüísticas del conocimiento, puesto que el conocimiento conceptual aparece envuelto en signos: palabras, símbolos, diagramas, etc. Para conseguir acceso a las ideas de la ciencia, tenemos que atravesar los lenguajes de la ciencia. Esta perforación se realiza con la ayuda del análisis filosófico, instrumento adecuado para descubrir la estructura y aclarar el sentido de los sistemas conceptuales.

Este capítulo y el siguiente están dedicados a un análisis filosófico de los conceptos científicos, o sea, a la lógica y la epistemología de los conceptos. La lógica de los conceptos tiene dos partes: la *sintaxis* de los conceptos, que estudia su estructura, y la *semántica* de los conceptos, que estudia la connotación de los mismos y su denotación, si la tienen. Veremos que la sintaxis y la semántica de los conceptos se interpenetran, aunque no sea más que por el hecho de que el dominio al que legítimamente puede aplicarse un concepto está determinado por su connotación. Por último, la epistemología de los conceptos se ocupa de estudiar su función en el proceso del conocimiento, y es muchas veces difícil de distinguir de la semántica de los conceptos. En este estudio usaremos moderadamente los elementos de la lógica formal y la semántica modernas, pero sin suponer en el lector ninguna familiaridad con esas disciplinas.

2.1. LENGUAJES CIENTÍFICOS

A diferencia de los místicos y de los ocultistas, los científicos objetivizan sus ideas por medio de signos que pueden ser percibidos y entendidos por todo el que lo desee. Así facilitan su propio trabajo y lo presentan al control y al uso públicos. Dicho de otro modo: la conversión del conocimiento personal en conocimiento científico va acompañada por la representación del primero con la ayuda de un conjunto de señales materiales convencionales (signos) que pertenecen a uno o más lenguajes. Nuestro acceso al conocimiento

científico tiene, por tanto, lugar a través de conjuntos de signos artificiales arbitrados para transportar ideas, más que sentimientos, como es el caso del lenguaje artístico. Por eso será conveniente repasar algunas nociones de *semiótica*, la ciencia de los signos.

Algunos lenguajes son creaciones históricas más o menos espontáneas: los llamaremos *lenguajes naturales*; ejemplo: el inglés. Un lenguaje natural sirve primariamente a fines de elaboración, almacenamiento y comunicación del conocimiento común. Ningún sector de la ciencia puede prescindir del lenguaje ordinario, pero ninguno puede tampoco seguir adelante sin construirse uno propio. Toda ciencia construye un *lenguaje artificial* propio que contiene signos tomados del lenguaje ordinario, pero se caracteriza por otros signos y combinaciones de signos que se introducen junto con ideas peculiares de esa ciencia. Ambos lenguajes, el natural y el artificial, son no sólo instrumentos de comunicación, sino también instrumentos para pensar.

En esquema, una primera división del lenguaje puede ser:

Lenguaje
- *Natural* (p. ej., inglés)
- *Artificial*
  - *Conceptual* (p. ej., la notación aritmética)
  - *No-conceptual* (p. ej., la notación musical)

(Algunos filósofos opinan que una ciencia no es más que un lenguaje artificial, lo que explica títulos como *El Lenguaje de la Física* y *El Lenguaje de la Sociología,* puestos a libros de la correspondiente metaciencia. Pero eso es coger el rábano por las hojas. La ciencia elabora sistemas de signos y trabaja con ellos, pero sólo en la medida en que esos signos materializan nuestras ideas acerca de objetos no-lingüísticos, como los enlaces químicos, por ejemplo. Además, la ciencia es comunicable, pero no es algo construido para el mero fin de la comunicación. La ciencia, en resolución, tiene un lenguaje, pero no es un lenguaje: es un cuerpo de ideas y procedimientos expresado en unos cuantos lenguajes. Por eso, un examen filosófico de la ciencia que se limite a analizar sus lenguajes perderá de vista lo que es peculiar de la ciencia: la búsqueda de verdad objetiva.)

Cuando hablamos o escribimos acerca de un cuerpo de signos (un lenguaje), nos colocamos más allá o fuera del objeto de nuestra investigación: utilizamos un lenguaje de nivel superior, desde cuya altura, por así decirlo, contemplamos el anterior, que está abajo. El lenguaje del cual hablamos se llama *lenguaje-objeto*; y hablamos de él en un *metalenguaje.* Así, cuando decimos que una determinada proposición (enunciado) p es verdadera, pronunciamos un *metaenunciado* acerca del enunciado p. Si p está expresado por una sentencia que pertenece a un determinado lenguaje-objeto, entonces el correspondiente metaenunciado se expresará por una sentencia del metalenguaje. Esta diferencia de nivel puede expresarse poniendo al símbolo objeto entre comillas, así.

La sentencia 's' expresa la proposición p	[2.1]
La proposición "p" es verdadera	[2.2]
La sentencia '[2.2]' pertenece a un metalenguaje de s	[2.3]

Obsérvese que al mencionar objetos lingüísticos, como las sentencias, los ponemos entre comillas simples, mientras que los objetos conceptuales, como las proposiciones

expresadas por sentencias, aparecen, cuando son mencionadas, entre comillas dobles. Son, naturalmente, posibles otras convenciones al respecto: lo que importa es adoptar una convención consistente y sencilla, y aferrarse fielmente a ella –cosa que se dice más fácilmente de lo que se hace.

No hay, en principio, límite para el número de metalenguajes, como lo indica [2.3], que pertenece al metametalenguaje de *s*; por otro lado, el lenguaje-objeto al que pertenece *s* puede muy bien ser un metalenguaje. La distinción entre niveles lingüísticos evita confusiones y paradojas. (Recuérdese la paradoja semántica del embustero que dice 'Estoy mintiendo'.) La distinción se presenta y debe mostrarse en la ciencia cada vez que hallamos *metateoremas* (teoremas acerca de teoremas), *metaleyes* (leyes acerca de leyes), y metarreglas (reglas de reglas), por no hablar ya de los meros comentarios acerca de teoremas, leyes y reglas, comentarios que pertenecen a un nivel lingüístico superior a aquel al que pertenece el objeto comentado.

Igual que cualquier otra creación humana, el lenguaje puede estudiarse tanto en sí mismo (estudio interno), cuanto como objeto social (estudio externo). Este último planteamiento es el propio del psicólogo, el antropólogo, el sociólogo y el historiador interesados por el lenguaje como fenómeno cultural. Tal planteamiento, importante en sí mismo, no es, en cambio, relevante para nuestros fines: lo que nos interesa no son tanto los *usos* de los signos en la vida social real (objeto de la *pragmática*, que es la unión de las ciencias empíricas recién aludidas) cuanto la *estructura* de los signos (objeto de la *sintaxis*) y sus *relaciones con ideas y cosas* (objeto de la *semántica*). La razón por la cual nos quedamos con la sintaxis y la semántica como instrumentos adecuados para el estudio de los lenguajes científicos es como sigue: Lo que nos interesa en última instancia son las ideas y los procedimientos de la ciencia, más que los modos, históricamente condicionados, como han sido expresadas esas ideas y formulados esos procedimientos por las diversas comunidades científicas; por tanto, tenemos que poner en el foco de nuestra atención lo que se mantiene invariante a través de cambios culturales tales como el paso de un lenguaje natural a otro, y hasta bajo cambios tales como los de notación en los lenguajes artificiales.

Tomemos, por ejemplo, la sentencia

Cuanto mayor es el volumen de producción, tanto mayor el coste del producto total. [2.4]

Equivalentes de esa sentencia son sus traducciones a otros lenguajes naturales; de este modo se produce un conjunto de entidades lingüísticas (sentencias en este caso), cada una de las cuales expresa la misma idea, que es, en este caso, cierta proposición perteneciente a la economía. La idea considerada puede expresarse de un modo más desnudo, exacto y universal en lenguaje matemático, escribiendo por ejemplo:

$$z = m \cdot y + n \qquad [2.5]$$

fórmula en la que 'z' designa en este caso el coste del producto total, 'm' el coste de producción por unidad, 'y' el volumen de producción y 'n' los gastos generales determinados. Sabemos, desde luego, que [2.5] es demasiado sencilla para ser verdadera: [2.5] es sólo una primera aproximación (lineal) a una relación más compleja entre y y z. Pero esto no es asunto nuestro.

Puede darse toda una serie ilimitada de otras lecturas posibles (interpretaciones) de esos mismos signos '*y*', '*z*', '*m*', y '*n*': de hecho, la misma fórmula [2.5] puede usarse para expresar relaciones físicas, biológicas, psicológicas, etc. En la forma [2.5] puede moldearse una gran variedad de contenidos específicos. Cada interpretación de una forma matemática está determinada por un conjunto de reglas de sentido y designación, tales como " '*y*' designa [representa] el volumen de producción". Si no se adopta ninguna interpretación determinada de los signos –o sea, si no se formulan reglas de designación– queda un esquema vacío que no afirma nada acerca del mundo y es, por tanto, asunto matemático. Si en [2.5] sólo '=' conserva su significación habitual (identidad), mientras que los demás símbolos quedan sin interpretar, entonces [2.5] es una fórmula *abstracta*; si las letras se interpretan como variables numéricas y '+' como la adición aritmética, entonces [2.5] recibe una interpretación aritmética: ya no es abstracta, pero sigue siendo una fórmula formal, esto es, una fórmula de sentido puramente matemático.

El estudio interno de una expresión lingüística como [2.4] o [2.5] se refiere tanto a su forma cuanto a su contenido: la forma está determinada por el peculiar modo como se combinan los signos, y el contenido por lo que dicen los signos –si es que dicen algo, porque pueden no decir nada, como ocurre cuando no se atribuye ningún sentido particular a los signos componentes. Las combinaciones aceptables de signos se establecen mediante reglas de formación (o reglas gramaticales, en un sentido amplio de 'gramática'); y sus significaciones se establecen mediante reglas de designación.

La fórmula [2.5], aunque más exacta que la correspondiente sentencia verbal [2.4], sigue siendo un análisis incompleto de ésta, pues coste de producción, volumen de producción, etc., no son cosas, sino propiedades de cosas de cierta clase (mercancías). Consiguientemente, se debería poner en lugar de la expresión 'volumen de producción', la expresión 'volumen de producción de *x*', designando '*x*' una entidad arbitraria de una determinada clase, como el conjunto de las máquinas de escribir, al que pertenece la mía. Así podría completarse la fórmula [2.5] haciéndola tomar el siguiente aspecto:

$$z(x) = m(x) \cdot y(x) + n(x) \qquad [2.6]$$

Aquí '*x*' designa la *variable individual,* o de objeto, variable cuyo campo es el conjunto de los objetos individuales considerado (por ejemplo, una colección de máquinas de escribir). Bastantes progresos científicos han consistido en el descubrimiento de que algo era una propiedad, y no una cosa, o una relación, y no una propiedad intrínseca. Recuérdese la destitución del calor como cosa –el calórico– y su conversión en una propiedad; o el descubrimiento de que la longitud es una propiedad relacional de las cosas, y no una propiedad intrínseca o absoluta de las mismas; o el descubrimiento de que el espíritu es un sistema de funciones, y no una sustancia. En todos esos casos, el análisis lógico más profundo ha sido un aspecto del análisis científico más profundo; y, en general, el análisis lógico de una fórmula requiere un conocimiento sustantivo, razón por la cual no hay análisis lógicos totales de fórmulas que tengan un contenido factual.

Tal como se nos presenta hasta ahora, y aunque le añadamos reglas de designación, [2.6] no designa una proposición propiamente dicha, esto es, un enunciado determinado que pueda ser verdadero o falso en alguna medida. De hecho, mientras los valores de la

variable individual x y los valores numéricos y, z, m y n estén sin fijar, la fórmula [2.6] es un esquema con huecos: expresa una *función proposicional*, más compleja que "x es azul" (cf. 1.4). Puede ser perfectamente que [2.6] carezca de sentido para acciones, o que valga para máquinas de escribir, pero no para otros valores de x, o que valga para pequeños valores del volumen de producción y, y no para valores grandes, etc. En cualquier caso, [2.6] es una fórmula indeterminada, un esquema o matriz a partir del cual podemos conseguir cierto número de sentencias, cada una de las cuales designará una proposición exacta o aproximadamente verdadera (o falsa). Los esquemas que expresan funciones proposicionales se llaman *funciones sentenciales* o sentencias abiertas.

Una función sentencial como $P(x)$ puede serlo o bien porque el campo de la variable individual x se deja sin definir o bien porque (lo cual puede ocurrir además de lo anterior) no se ha fijado la *variable predicativa* P, fijación que puede hacerse, por ejemplo, mediante una regla de designación tal como: "El predicado P designa el concepto 'número primo' ". Si 'P' designa una constante predicativa, y no una variable predicativa, o sea, si el valor de P está fijado, entonces x es la única variable que queda en la función sentencial $P(x)$. Si x toma un valor determinado, por ejemplo la constante c, que designe un determinado individuo, como el número 3, entonces obtenemos la sentencia $P(c)$, o sea, '3 es un número primo'. Dicho brevemente: una función sentencial se convierte en una sentencia y, consiguientemente, la función proposicional denotada se convierte en una proposición, si todas las variables individuales y predicativas toman valores específicos, o sea, determinados por una *especificación.*

Hay otra manera de conseguir que una función proposicional se convierta en una idea verdadera o falsa, es decir, en una proposición: mediante *generalización.* Ésta se lleva a cabo anteponiendo un *cuantificador* a la proposición. La misión del cuantificador es indicar los valores de la variable. Así, la función proposicional "x es azul" puede convertirse en la proposición verdadera "algún x es azul" o en la proposición falsa "todo x es azul". El prefijo 'para algún x' (o 'para un x al menos') es un *cuantificador existencial*; 'para todo x' (o 'para cada x') es un *cuantificador universal.* Utilizaremos los cuantificadores indicados en la lista siguiente.

TABLA 2.1. LISTA DE CUANTIFICADORES

Nombre	*Símbolo*	*Lectura*
Cuantificador existencial indefinido	$(\exists x)$	Hay al menos un x tal que
Cuantificadores existenciales definidos	$(\exists x)_n$	Hay exactamente n x tales que
Cuantificador existencial limitado	$(\exists x)_U$	Existen x en U tales que
Cuantificador universal libre	(x)	Todo x es tal que
Cuantificador universal limitado	$(x)_U$	Todo x del conjunto U es tal que

Para $n = 1$, el cuantificador existencial definido es $(\exists x)_1$, que puede leerse: 'Hay exactamente un x tal que'; los matemáticos suelen designar este singularizador mediante 'E!'. La expresión suscrita que aparece en el símbolo del cuantificador universal limitado, '$x \in U$', puede leerse 'x está en U', o 'x pertenece a U' designando 'U' el *universo del discurso*, o sea, el dominio de individuos aludido por el enunciado entero.

Pueden formarse proposiciones con una sola variable individual x y una sola variable predicativa P asignando valores a ambas o prefijando cuantificadores. La tabla siguiente presenta las clases de proposiciones que resultan; están ordenadas por la extensión o generalidad.

TABLA 2.2. CLASES DE PROPOSICIONES ELEMENTALES

- Proposiciones
  - Individuales
    - Singulares $P(c)$, con P y c constantes
    - Existenciales $(\exists x)_1 (Px)$, o E! $P(x)$
  - Indefinidas: $(\exists x) P(x)$
  - Generales
    - Particulares $(\exists x)_n P(x)$, con $n > 1$
    - Universales
      - Limitadas $(x)_U P(x)$
      - Libres $(x)P(x)$

Las proposiciones son los objetos de interés más importantes, pero no los únicos, que se encuentran en el conocimiento científico, o, en general, en cualquier cuerpo de ideas. Pero también encontramos *propuestas* (por ejemplo, "Supongamos p"), *problemas* (por ejemplo, "¿es c un P?"), *reglas* (por ejemplo, "Hágase A para conseguir B") y otras ideas que no son ni verdaderas ni falsas. (Dicho sea de paso, la lógica de las propuestas, los problemas, las reglas, las promesas, las amenazas y otros objetos conceptuales que no tienen valor veritativo, está aún prácticamente por empezar.) Lo que no hallamos en el cuerpo del conocimiento científico es *consejos* ("Es conveniente para x hacer y"), *peticiones* o *ruegos* ("Por favor, x, haga y") ni *órdenes* ("Haga x"). Estas clases de objetos se encuentran en el curso de la investigación, como en el de cualquier otra acción, pero no en el resultado.

Dicho brevemente: las clases de expresiones (bien formadas y autocontenidas) que encontramos en los lenguajes científicos son las siguientes:

TABLA 2.3. LISTA DE EXPRESIONES BIEN FORMADAS Y AUTOCONTENIDAS

Signo (objeto lingüístico)	*Designatum* (objeto conceptual)	*Ejemplo*	*Símbolo*
Función sentencial	Función proposicional	x es primo	$P(x)$
Sentencia	Proposición	c es primo	$P(c)$
Sentencia propositiva	Propuesta	Sea c primo	$(S)P(c)$
Pregunta	Problema	¿Es c primo?	$(?)P(c)$
Sentencia regulativa	Regla	Hágase A para conseguir B	B *per* A

Todas las anteriores son *fórmulas bien formadas*: obedecen a reglas de composición o formación más o menos explícitas. Tales reglas prohíben la formación de monstruos lingüísticos como 'x es' (por incompleto) y 'x es más pesado' (porque "más pesado" es

una relación diádica de dos argumentos, y no una propiedad intrínseca). Además de las *reglas de formación*, o reglas de constitución de fórmulas bien formadas (*fbf*), la sintaxis estudia las *reglas de transformación* de los diversos lenguajes, o sea, las indicaciones que rigen las transformaciones admisibles de unas fórmulas en otras. Por ejemplo, toda equivalencia –como "Si x e y son números, entonces $x = -y$ si y sólo si $x + y = 0$"–puede utilizarse como una regla que permite sustituir un miembro de la equivalencia (por ejemplo, el miembro "$x = -y$") por el otro miembro ("$x + y = 0$"). (Pero las equivalencias mismas no son reglas.)

En los lenguajes científicos, las reglas de formación y transformación no suelen aparecer formuladas explícitamente: hay que explicitarlas cuando se analiza o formaliza algún sector del discurso. En el caso de la formalización (que consiste en poner todas las cartas encima de la mesa), se da una lista completa de las reglas de formación y las reglas de transformación. (La formalización de teorías se estudiará en la sección 8.3.) Una tal lista es la culminación del análisis sintáctico del fragmento de discurso de que se trate. La lógica elemental es una sintaxis universal que estudia las reglas de formación y transformación de todos los lenguajes conceptuales; un análisis sintáctico más profundo requiere ya un conocimiento sustantivo material del campo de que se trate.

Toda fórmula compleja bien formada contiene por lo menos un término que representa un concepto. Así, "x es un número primo" contiene el concepto específico de número primo y el concepto genérico de tener una propiedad, o pertenecer a un conjunto de elementos todos los cuales están caracterizados por una propiedad. Consiguientemente, un análisis de las expresiones bien formadas supondrá su descomposición en términos y relaciones entre términos (análisis sintáctico), así como una averiguación de las relaciones entre ellos y los conceptos que designan (análisis semántico). En resolución: el análisis interno de un lenguaje es a la vez sintáctico y semántico, y apunta a los conceptos y sus representaciones lingüísticas. Este capítulo y el siguiente se ocupan precisamente de algunos rasgos de ese análisis dúplice, en la medida en que puede ayudarnos a entender la ciencia. Pero antes de entrar en mayor detalle debemos aludir a ciertos problemas generales referentes al lenguaje de la ciencia.

Desde el punto de vista de la sociología lingüística, un lenguaje científico es simplemente un dialecto profesional. Desde un punto de vista metacientífico, un lenguaje científico no se encuentra al mismo nivel que un *argot* o jerga suburbana, que puede aprenderse leyendo novelas costumbristas; la diferencia se debe a que los lenguajes de la ciencia se construyen para expresar un conocimiento extraordinario, y no primariamente el ordinario. Toda ciencia utiliza, además del lenguaje ordinario, expresiones y transformaciones de las mismas que no tienen sentido sino en el contexto de alguna teoría. Así, la expresión 'Las partículas alfa despedidas de la cámara iónica se aceleraron en el ciclotrón hasta 100 MeV', aunque es una sencilla sentencia descriptiva, no tiene sentido fuera del contexto de la física atómica; para entender la frase hay que conocer ciertas teorías, y no simplemente echar mano del Diccionario de la Academia. El análisis interno completo (sintáctico y semántico) de un fragmento de discurso científico, aunque sea sencillo como la frase anterior, exige una comprensión adecuada de un cuerpo básico de conocimiento especializado.

En la ciencia, a diferencia de lo que ocurre en el arte, el determinante principal del par idea-signo es la idea. Es verdad que los símbolos influyen, por así decirlo, en el pen-

samiento, porque son artefactos ya preparados y, en esa condición, canalizan pensamiento y, a veces, son capaces de manifestar una extensión insospechada de ciertas ideas. Pero en última instancia el poder de los signos estriba en su capacidad de representar las ideas por las cuales nos interesa usarlos. Ninguna revolución científica ha tenido nunca lugar por cambios puramente lingüísticos, mientras que una idea influyente puede dar lugar a cambios importantes en el lenguaje de una ciencia, cambios que tal vez se propagan a ciencias contiguas. Ejemplo de ello son los cambios lingüísticos producidos en la biología por la teoría evolucionista de Darwin y, más recientemente, por la adopción por parte de los genetistas de algunos conceptos clave de la teoría de la información, como "información" y "código", así como por las discusiones de los sociólogos acerca de la teoría de las decisiones, por virtud de la cual cada uno de nosotros ha sido ascendido al rango de formulador de decisiones. La difusión de términos y expresiones científicos que en sus orígenes eran específicos tiene lugar en la medida en la cual se les reconoce la capacidad de suscitar una nueva comprensión –esto es, en la medida en la cual la difusión lingüística es concomitante de una exportación de conocimiento. En resolución: los lenguajes científicos se crean, modifican y difunden junto con teorías y procedimientos científicos; consiguientemente, su estudio no puede realizarse independientemente del de esas teorías y esos procedimientos.

Del mismo modo que el conocimiento científico difiere del conocimiento común (cf. sección 1.1), así también difiere su lenguaje del ordinario. Y del mismo modo que el conocimiento común no puede estimar el conocimiento científico, así también el lenguaje ordinario es un instrumento demasiado rudimentario para estudiar los delicados lenguajes especiales de la ciencia, como el de la mecánica cuántica, por ejemplo. Más que un instrumento analítico, el lenguaje ordinario es en realidad un objeto de análisis, un analysandum, y aún más resueltamente un objeto que hay que depurar con la ayuda de lenguajes más finos, empezando por la lógica elemental. Un tal análisis está en curso desde principios de siglo, y ha mostrado ya, por un lado, la sutileza psicológica (por ejemplo, los acentos retóricos) del lenguaje ordinario, y, por otro, las limitaciones y las imprecisiones de los lenguajes naturales y de la lógica (antigua y medieval) basada en ellos. Así, por ejemplo, el lenguaje común admite frases como 'Es capaz de hacer toda clase de cosas'. La lógica, en cambio, nos prohíbe, y con sólidas razones, tratar a las clases como si fueran individuos (por ejemplo, a las clases de cosas como si fueran cosas), y nos invita así a corregir la anterior sentencia diciendo en su lugar: 'Es capaz de hacer cosas de todas clases.'

Las limitaciones e imperfecciones del lenguaje ordinario han provocado, naturalmente, la invención de los lenguajes artificiales de la ciencia. Análogamente, la imperfección de la lógica clásica (aristotélica) –asociada íntimamente con las lenguas europeas– ha motivado la creación de la lógica moderna (lógica simbólica y semántica), utilizada por la mayoría de los actuales filósofos de la ciencia como instrumento para sus análisis de la ciencia. Atenderemos ahora a otros rasgos de esos instrumentos.

Problemas

2.1.1. Caracterizar e ilustrar el concepto de lenguaje artificial. Distinguir cuidadosamente entre los lenguajes artificiales de la ciencia, como el de la mecánica analítica, y los lenguajes-juguetes *ad hoc* que a veces inventan los filósofos, ya para estudiar mejor los rasgos de los lenguajes reales, ya para eludir problemas difíciles. Un lenguaje privilegiado de este tipo de lenguaje-juguete es el que consta de un conjunto finito de constantes (que designan individuos) y otro de predicados monádicos (que designan propiedades intrínsecas).

2.1.2. Elegir un fragmento de texto científico y mostrar qué expresiones del mismo pertenecen al lenguaje ordinario y cuáles a lenguajes artificiales.

2.1.3. Tomar un texto científico e identificar en él algunas expresiones metalingüísticas, unas pocas sentencias propositivas y algunas sentencias regulativas.

2.1.4. Enumerar las peculiaridades de los lenguajes científicos, diferenciándolas de las características del lenguaje ordinario.

2.1.5. Comentar la frase de Condillac según la cual "Una ciencia no es más que un lenguaje bien hecho", y la creencia de Poincaré en que la función del científico consiste exclusivamente en crear un lenguaje claro y conciso para expresar hechos concretos. Tener en cuenta: (*i*) que cierto número de teorías incompatibles entre sí pueden formularse en un mismo lenguaje, y (*ii*) que una fórmula expresable en un determinado lenguaje, por ejemplo, "2 = 1", puede no pertenecer a la teoría correspondiente a ese lenguaje.

2.1.6. Tomar el protocolo de un experimento y determinar si está formulado en un lenguaje sensorial (de enumeración de datos de los sentidos) o si contiene términos que no designan directamente experiencia humana. Determinar ante todo: (*i*) si un lenguaje puramente sensista puede bastar para los fines científicos; (*ii*) si, caso de existir tal lenguaje, puede ser público, no meramente personal; y (*iii*) si un tal lenguaje podría expresar enunciados objetivos, esto es, proposiciones que fueran más allá de lo que es o puede ser objeto de experiencia de un determinado sujeto.

2.1.7. Los términos 'rojo', 'áspero' y 'doloroso' intervienen en la descripción de ciertos hechos experimentales: consiguientemente, se les puede llamar *términos fenoménicos*. Por otra parte, 'cosa', 'longitud' y 'viviente' intervienen en la descripción y la explicación de hechos objetivos, independientemente de que puedan ser o no objeto de experiencia directa: podemos llamarles *términos de objeto físico*. 'Veo rojo' es entonces una sentencia fenomenista, mientras que 'Aquí encima hay una bandera roja' es una sentencia de objeto físico. Algunos filósofos, especialmente los primeros positivistas, sostuvieron (*i*) que existe un *lenguaje fenomenista* (y no sólo un vocabulario fenomenista, cosa que nadie puede negar) y (*ii*) que ese lenguaje fenomenista es o debería ser el *lenguaje básico* de la ciencia, en el sentido de que todos los términos de objeto físico, particularmente los teoréticos (como 'temperatura'), son o deberían ser construidos a partir de términos fenomenistas por medios puramente lógicos. Discutir esas tesis. Intentar construir un término científico, como 'distancia' o 'masa', a partir de términos fenomenistas. Y determinar qué ventajas tendría esa reconstrucción para una filosofía subjetivista (centrada en el sujeto), como el empirismo, si el vocabulario, aunque no la sintaxis, de la ciencia fuera así reducible a la experiencia subjetiva.

2.1.8. Considerar el siguiente texto, tomado de J. Z. Young, *The Life of Mammals*, Oxford, Clarendon Press, 1957, p. 572: "La esencia de una hormona, hablando con precisión, consiste en constituir una señal química específica. Hemos visto que el concepto de señalización implica un conjunto de instrucciones para obrar de una determinada manera. Las señales aseguran la corrección de la acción porque se envían a partir de una estructura o código controlado, se transmiten a distancia y son 'descifradas' según aquel código por los receptores, mediante la selección de algunas entre las acciones posibles de estos últimos. Las glándulas de secreción interna son capaces

de actuar de ese modo gracias a que las instrucciones hereditarias contenidas en los genes aseguran que la emisión de sus productos está controlada de tal modo que tiene lugar en condiciones adecuadas. Las señales son descifradas por determinados tejidos que son sensibles a ellas, razón por la cual se conocen a veces con la denominación de *órganos-blanco.*" Buscar en la literatura científica más ejemplos de renovación de un dialecto científico a causa de la influencia de nuevas teorías. *Problema en lugar del anterior*: Hace mucho tiempo que se observó que ciertos términos quedan sobre-determinados, por así decirlo, por teorías científicas, como consecuencia de lo cual se producen numerosas controversias acerca del nombre "correcto" de una cosa, controversias que suponen en realidad una polémica sobre teorías rivales. Tal fue, sin duda, el caso por lo que hace al "aire desflogisticado", descubierto por Priestley, pero no identificado correctamente hasta Lavoisier, y rebautizado entonces por él con el nombre de 'oxígeno'. Discutir e ilustrar el alcance teorético de la terminología científica. Cf. W. Whewell, *Novum Organum Renovatum,* 3a. ed., Londres, Parker, 1858, pp. 264ss., 294ss., y N. R. Hanson, *Patterns of Discovery*, Cambridge University Press, 1958, pp. 54 ss.

2.1.9. Discutir el lugar del análisis sintáctico y semántico en la ciencia o en la filosofía. Cf. C. W. Morris. *Foundations of the Theory of Signs*, vol. I, núm. 2, de la *International Encyclopedia of Unified Science,* Chicago, University of Chicago Press, 1939, especialmente la sec. vii; R. Carnap, *The Logical Syntax of Language,* Londres, Routledge and Kegan Paul, 1937, especialmente la parte v; M. Bunge, *Sense and Reference* e *Interpretation and Truth,* Dordrecht, Reidel, 1974.

2.1.10. Esbozar un programa de investigación de la lógica de las propuestas, y mostrar su relevancia para el estudio de las hipótesis científicas. *Problema en lugar de ése:* Desarrollar con comentarios la relación entre equivalencia y regla aludida en el texto.

2.2. TÉRMINO Y CONCEPTO

Considérese la sentencia 'Darwin fue un científico': es una de las muchas expresiones lingüísticas posibles de la proposición correspondiente (cf. sección 2 .1). Cada palabra de esa sentencia es un *término*, es decir, una unidad lingüística. Pero no todo término designa por sí mismo un concepto, ni todo concepto refiere por sí mismo, independientemente, a un rasgo de la realidad. De hecho, los conceptos contenidos en la proposición en cuestión son "Darwin", "pertenencia a clase" (concepto designado por la vaga dicción 'fue un') y "científico del pasado". 'Darwin', que lingüísticamente es un nombre propio y lógicamente una constante individual, designa el concepto "Darwin", el cual representa a su vez al individuo vivo Darwin. 'Fue un' es una forma lingüística de 'ser un', la cual designa en este caso la pertenencia a una determinada clase, concretamente a la clase de los científicos del pasado. Y 'científico del pasado' designa el concepto "científico que vivió antes de nuestros días"; es una frase (o signo complejo) que designa un concepto único.

Así pues, un fraseo más exacto de la sentencia enunciada es: 'Darwin pertenece a la clase de los científicos del pasado'. Esta sentencia puede simbolizarse por $c \in P$, en la cual, 'c' designa al individuo Darwin, '$\in$' designa la relación de pertenencia a clase, y 'p' la clase de los científicos del pasado. Otra simbolización equivalente es '$P(c)$', cuya lectura es: 'c es un P', o 'c satisface la función P' o 'c es un valor argumento de la función P'.

Los términos 'fue' y 'un' de la sentencia 'Darwin fue un científico' no tienen significación propia: no designan conceptos independientes ni se refieren a ningún concreto

objeto real, aunque intervienen en la descripción de hechos en el lenguaje común. *Algunos filósofos sostendrían, además, que 'científico del pasado' es una ficción sin referencia o contrapartida real, pues las clases son según ellos meros nombres aplicados a agrupaciones arbitrarias de individuos. Tal es, ciertamente, el caso de algunos términos de clase, como, por ejemplo, 'gente agradable', pero no de todos. Algunas clases –o, por lo menos, algunas colecciones que son homogéneas en algunos respectos (como las poblaciones biológicas)– se consideran reales incluso cuando se han extinguido, como ocurre en el caso de ciertos conceptos de clases usados por los biólogos. El físico que habla de cuerpos sólidos, el biólogo que estudia las costumbres de las marsopas, y el sociólogo que trata de capas sociales no adoptan una actitud nominalista, sino que creen en la existencia de géneros naturales, y, por tanto, de agrupaciones objetivas basadas en analogías objetivas, comunidad de antepasados u otros rasgos. Además, los científicos no restringen el término 'realidad' de tal modo que no se aplique más que a lo que existe en el momento presente respecto al marco de referencia del sujeto. Hemos aprendido a llamar *real* a lo que existe en algún lugar del continuo espacio temporal de cuatro dimensiones.*

La anterior discusión supone tres niveles de entidades: el lingüístico, el conceptual y el óntico; se representan esquemáticamente en la tabla 2.4. Obsérvese que, de acuerdo con la convención adoptada en la sección 2.1, distinguimos entre entidades lingüísticas y entidades conceptuales por el procedimiento de dar las primeras, cuando son mencionadas, entre comillas simples, como en el caso de la cifra '3', mientras que las entidades conceptuales (como, por ejemplo, el número "3"), aparecen entre comillas dobles.

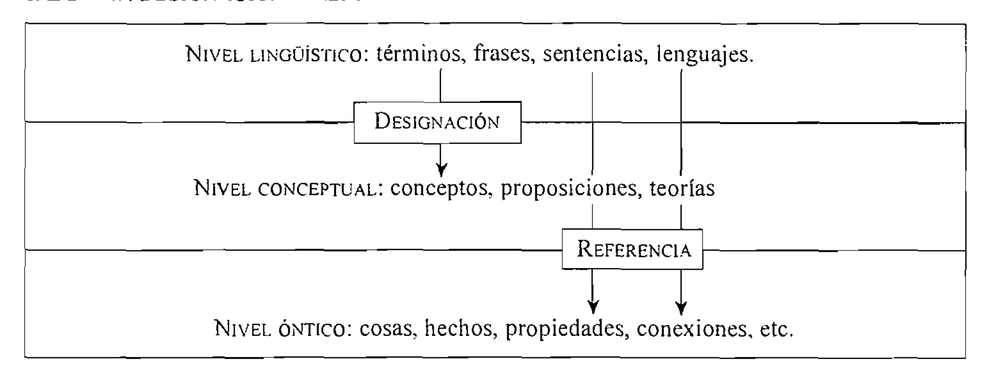
TABLA 2.4. NIVELES LINGÜÍSTICO, CONCEPTUAL Y FÍSICO

Nivel lingüístico (términos y frases)	'Darwin fue un científico' (sentencia)	'*c*'= 'Darwin' (término)	'∈' = 'pertenece a' (término)	'*P*' = 'científico del pasado'
Nivel conceptual (conceptos y proposiciones)	"Darwin fue un científico" (proposición)	'*c*'= 'Darwin' (concepto)	'∈' = 'pertenece a clase' (concepto)	'*P*' = 'científico del pasado' (concepto)
Nivel óntico (hechos, cosas, propiedades, etc.)	El hecho de que Darwin fue un científico	El hombre Darwin	—	La colección de científicos del pasado

Nos interesan ahora dos clases de relaciones entre los tres niveles indicados: las relaciones de designación y referencia. La relación de designación *vale* entre miembros del nivel lingüístico y sus correlatos, si existen, en el nivel conceptual. Así decimos que '*c*' designa a "Darwin", y llamamos al concepto "Darwin" el *designatum* del término '*c*'. La relación de designación es una relación asimétrica signo-idea; en general, no es biunívoca. La relación de *referencia* se establece entre miembros del nivel lingüístico o conceptual y miembros, si los hay, del nivel físico que son correlatos de los primeros. Por ejemplo, decimos que el hombre Darwin es la *referencia* de '*c*' y de "*c*"; o bien, con el mismo valor,

que '*c*' y "*c*" representan a Darwin en sus respectivos niveles. La relación de referencia es una relación asimétrica entre alguna entidad lingüística o conceptual y su correlato físico, si lo tiene. La unión de las dos relaciones, la de designación y la de referencia, puede llamarse *denotación.* La tabla 2.5 resume esta discusión.

TABLA 2.5. DESIGNACIÓN Y REFERENCIA



No todos los términos designan, ni refieren todos los términos y conceptos. Por ejemplo: 'ello', '!' y '(' no designan ningún concepto: son partes de expresiones significativas, pero no tienen significación por sí mismos; se llaman *términos sincategoremáticos.* No es nada obvio esto de que no todos los términos y conceptos tengan referencia externa: según ciertas variedades de empirismo y materialismo, todas las ideas tienen correlatos no-conceptuales (empíricos o materiales). Nuestra discusión de las fórmulas analíticas en la sección 1.4. mostró, sin embargo, que la ciencia maneja signos y conceptos sin referencia externa, o sea, símbolos formales. Así diremos que el concepto de número (puro) y todos los conceptos subsumidos bajo el mismo –las subclases constituidas por los números reales, los enteros, los primos, etc.– carecen de referencia. Sólo números concretos, como "10 metros" y "10 átomos", tienen correlatos, a saber, propiedades de sistemas materiales; pero precisamente por eso no los estudia la matemática, que es una ciencia formal. También diremos que la cifra (nombre de un número) '7' designa el concepto "7", el cual por su parte no refiere a nada externo a sí mismo. Como en la matemática no se presentan más que tales conceptos formales, no hace falta usar comillas dobles cuando se los menciona; así decimos que 7 es primo, en vez de escribir: ' "7" es primo'; pues no hay peligro de confundir el concepto 7 con ninguna cosa real. La confusión no puede producirse más que cuando se trata de conceptos concretos: así, por ejemplo, se confunden los átomos con el concepto de átomo o con la palabra 'átomo'.

En general, los conceptos de la ciencia formal, o *conceptos formales,* carecen de referencia. Todos los conceptos que no son formales pueden llamarse *no-formales.* Muchos de ellos serán términos concretos o factuales, a saber, los que se entienden como dotados de correlato real, aunque resulte que no tienen contrapartida real. Así, "centauro" puede considerarse como un concepto concreto porque se destinaba a denotar una entidad concreta. Los conceptos no-formales se llaman frecuentemente *términos descriptivos,* lo cual

sugiere que todo lo que no es formal es descriptivo. Pero como hay otras clases de conceptos –interpretativos, normativos, etc.–, no adoptaremos esa terminología. Por otra parte, el uso de '*término* descriptivo' en vez de '*concepto* no-formal' supone la aceptación de una filosofía nominalista en la cual no hay conceptos ni proposiciones, sino sólo términos y sentencias. No podemos aceptar esa filosofía, porque necesitamos la distinción entre las ideas y sus expresiones lingüísticas (por ejemplo, entre las teorías científicas y sus correspondientes lenguajes), y porque tenemos que respetar el hecho de que todo cambio científico profundo supone no sólo la introducción de nuevos símbolos, sino también la *reinterpretación* de símbolos viejos, proceso en el cual ciertos signos ya existentes se destinan a designar conceptos nuevos, como ejemplifica el término 'masa' en el caso de la revolución newtoniana y el término 'especie' en el de la darwiniana.

¿Cómo podemos averiguar qué términos cuentan como términos que designan conceptos y cuáles son puramente retóricos? He aquí una regla simple para averiguar cuáles son los términos que designan conceptos: "En primer lugar, eliminar los ingredientes retóricos de las expresiones consideradas. Luego explicitar su estructura lógica. Por último, retirar los signos lógicamente completos". Ejemplo: 'Ciertamente, ninguno de los precursores de Newton construyó una mecánica racional'. Primer paso: eliminar 'ciertamente'. Segundo paso: 'Para todo x, si x es un precursor de c, entonces x no construye d'. Tercer paso: '$(x)\ [P(x,c) \rightarrow -C(x,d)]$'. Los conceptos (lógico–) formales supuestos por esa fórmula son: "universalidad", designado por '(x)', "condicional", designado por '$\rightarrow$', y "negación", designado por '–'. Por tratarse de conceptos lógicos, son todos universales. Por otro lado, los conceptos no-formales (o extra-lógicos, o temáticos, o específicos) son: los conceptos individuales "Newton" y "mecánica racional", así como las funciones de dos argumentos (relaciones diádicas) "precursor" y "construir". (También habríamos podido explicitar el concepto de tiempo si hubiéramos querido realizar una traducción fiel del tiempo verbal.) El término 'de' en sus dos usos en la sentencia dada resulta ser tan superfluo desde el punto de vista lógico como el término 'ciertamente'; además, hay lenguas en los que no existe.

La dicotomía de conceptos según el criterio formal no-formal atraviesa otras cuantas agrupaciones posibles. Especialmente útil es la que se expone en la tabla 2.6.

TABLA 2.6. CLASES DE CONCEPTOS

1	*Conceptos individuales* ("c", "x")		
2	*Conceptos de clases* ("cobre", "viviente")		
3	*Conceptos relacionales*	*No-comparativos*	*Relaciones propiamente dichas* ("∈", "entre")
			Operadores ("&", "+")
		Comparativos ("≤", "más adaptado que")	
4	*Conceptos cuantitativos* ("población, "longitud").		

Los *conceptos individuales* se aplican a individuos, ya determinados (conceptos individuales específicos), ya indeterminados (conceptos individuales genéricos); "Newton" es un concepto individual definido, determinado o específico, mientras que "x" es un concepto individual indefinido, indeterminado o genérico (es decir, un concepto que denota un individuo cualquiera). La cuestión de qué es un individuo depende del nivel de análisis adoptado: un individuo de un determinado nivel puede ser un sistema o un mero agregado de individuos de nivel inferior. Así, por ejemplo, para algunos fines la mecánica racional se considerará como un individuo entre otras teorías individuales, y otras veces se tratará como un conjunto de fórmulas, por tanto, como un concepto de clase.

Los *conceptos de clases* se aplican a conjuntos de individuos, como en el caso de "cobre", que se aplica al conjunto de todas las posibles muestras de cobre; o bien a conjuntos de conjuntos, como en el caso de "viviente", que abraza a todas las especies biológicas. La estructura de los conceptos de clases es la de un predicado monádico (de un solo argumento), $P(x)$.

Los *conceptos relacionales* se aplican a relaciones entre objetos (individuos o conjuntos) de algún género; así, "multiplicado por dos", se aplica a variables numéricas y a sus valores concretos. Los operadores son un género especial de relaciones, a saber, aquellas que dan otro miembro de un conjunto determinado: así, mientras que '$A \subset B$' simboliza la relación de inclusión de A en B, '$A \cap B$' representa la operación que produce la parte común de A y B. Las relaciones comparativas son aquellas que, como $\subseteq$, nos permiten ordenar conjuntos.

Todo concepto relacional tiene la estructura de un predicado poliádico, o múltiple-variable, $P(x, y)$ si es diádico, $P(x, y, z)$ si es triádico, etc. El número de huecos (lugares, argumentos o variables) de un predicado se llama su *grado*. Las relaciones más importantes son las diádicas (lógicamente: los predicados de segundo grado). Pueden caracterizarse por la posesión o ausencia de las siguientes propiedades formales. (*i*) *Conexividad* en un conjunto dado: si x e y son dos miembros cualesquiera de ese conjunto, entonces vale $P(x, y)$ o $P(y, x)$; por ejemplo, $\leq$ es conexa en el conjunto de los números reales, mientras que $\subset$ no es conexa en el conjunto de todos los conjuntos. (*ii*) *Univocidad*: cada elemento x está relacionado con un solo objeto y; si vale también la recíproca, la relación es uno-a-uno, o biunívoca. "El doble de" es biunívoca; "el cuadrado de" es unívoca, pero no lo es su conversa, a saber, "raíz cuadrada de x", la cual proyecta todo número positivo sobre un par de números, $\sqrt{x}$ y $-\sqrt{x}$. (*iii*) *Simetría*: si $P(x, y)$, entonces $P(y, x)$; la fraternidad es una relación simétrica, a diferencia de la relación de progenitura. (*iv*) *Reflexividad*: $P(x, x)$, como en el caso de $\subseteq$. Y (*v*) *Transitividad*: si $P(x, y)$ y $P(y, z)$, entonces $P(x, z)$.

Una relación que relaciona los elementos de dos conjuntos (o sea, x con y) de un modo unívoco se llama una *función*. Una función no tiene por qué ser biunívoca; basta con que sea unívoca. El conjunto de las x (el conjunto que es campo de variabilidad de x) se llama *dominio* de la relación (o de la función); el conjunto sobre el cual varía y se llama el *dominio converso de la relación*. Una función *refleja su dominio en su dominio converso*, de tal modo que cada elemento de su dominio tiene una sola imagen en su dominio converso o codominio (condición de univocidad); pero la función puede ser tal que varios individuos de su dominio queden reflejados por el mismo elemento del dominio converso. Las funciones se escriben frecuentemente en forma de ecuaciones, a saber: $y = f(x)$, que se lee 'el

valor de f en x es igual a y'. En la fig. 2.1 se encuentra una representación intuitiva de una función. Primera advertencia: los miembros del dominio y del codominio de una función no tienen por qué ser objetos matemáticos. Segunda advertencia: en particular, el dominio puede coincidir con el codominio, como ocurre cuando se refleja un conjunto de números sobre sí mismo mediante una *función numérica como* "$y = ax$".

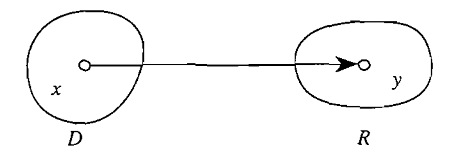


FIGURA 2.1 Una función f refleja su dominio D sobre su codominio R, y puede, por tanto, escribirse: '$f: D \to R$' o '$y = f(x)$'

Las funciones son la estructura de conceptos cuantitativos, o *magnitudes*, también llamados cantidades. Por ejemplo, la temperatura es una función T que refleja el conjunto de los cuerpos (genéricamente representado por σ), sobre el conjunto de los números reales (genéricamente representados por t). La variable independiente de T es la variable *individual* o de *objeto*, σ, mientras que la variable dependiente es en este caso la *variable numérica t.* Por tratarse de una función, las dos variables que se presentan en la relación de temperatura pueden separarse del modo acostumbrado: "$T(\sigma) = t$", que se lee 'la temperatura de σ es igual a t'. La variable numérica t que se presenta en la función temperatura es igual al número de unidades de temperatura en una escala determinada, por ejemplo la de Kelvin. Cuando la escala y el sistema de unidades están fijados por el contexto, no necesitamos escribirlos explícitamente; en otro caso podrían indicarse mediante algún símbolo especial, por ejemplo, s. O sea:

$$T(\sigma, s) = t \qquad [2.7]$$

Lo mismo puede decirse de la longitud, la duración, la fuerza, la concentración y todas las demás magnitudes: su estructura es la de una función de una o más variables –por lo menos, una variable individual o de objeto (cf. sección 2.3). Advertencia: hay que distinguir entre la función (relación) f y sus valores numéricos, y, o sea, el proceso de reflejo y la imagen reflejada.

El análisis lógico de los conceptos cuantitativos (magnitudes) como funciones o reflejos o proyecciones (biunívocas o unívocas) nos permite *distinguir entre una propiedad y sus valores numéricos.* Y esto, a su vez, nos permite manejar el concepto sin fijar números y, a la inversa, manejar números sin preocuparnos de las propiedades que miden. Así, por ejemplo, podemos hablar de peso sin precisar el valor de su variable numérica; o, a la inversa, podemos tratar directamente esta última, como cuando hacemos cálculos con pesos. El mismo análisis nos permite, además, darnos cuenta de que las fórmulas numéricas de las ciencias factuales, particularmente los enunciados de leyes cuantitativas, no contienen la *integridad* de los conceptos que intervienen en ellos, sino sólo sus variables *numéricas:* contienen los valores numéricos de las funciones, no las funciones mismas. Así, cuando simbolizamos la fórmula "Peso = Masa · Aceleración de la grave-

dad", no escribimos íntegramente las tres magnitudes, sino sólo sus variables numéricas, *p*, *m* y *g* respectivamente. O sea: no escribimos '$P = M \cdot G$', sino '$p = m \cdot g$'. Dicho de otro modo: lo que se multiplica son los *números* *m* y *g*, no los conceptos integros "*M*" y "*G*": carecería de sentido someter entidades no-matemáticas a operaciones matemáticas, y por esta razón extraemos de los conceptos íntegros sus componentes matemáticos.

La anterior discusión de la estructura lógica de los conceptos se resume en la tabla 2.7.

TABLA 2.7. ESTRUCTURA LÓGICA DE LOS CONCEPTOS

Tipo de concepto	*Estructura lógica*
Individual Ejs.: Marte, Juan García	Constantes individuales (*a*, *b*, ...) y variables individuales (*x*, *y*, ...)
De clase Ejs.: Sólido, Hombre	Predicados monádicos *P* (constantes o variables) o las clases correspondientes: $C_1 = \{x \mid P(x)\}$
De relación Ejs.: Parte de, Entre	Predicados poliádicos (predicados de grado superior): $F(x, y)$, $F(x, y, z)$, ..., o las clases correspondientes: $C_2 = \{\langle x, y\rangle \mid F(x, y)\}$, $C_3 = \{\langle x, y, z\rangle \mid F(x, y, z)\}$.
Cuantitativos Ejs.: Numerosidad, Masa	Functores numéricos: $F(x) = y$, $F(x, y) = z$, ...

Esos varios géneros de conceptos difieren en cuanto a fuerza lógica: a partir de los conceptos cuantitativos pueden obtenerse conceptos relacionales; estos últimos producen conceptos de clase, y éstos a su vez conceptos individuales: en cambio, el proceso inverso es imposible sin añadidos adecuados. Por ejemplo: a partir de una tabla de distancias respecto de un punto determinado podemos construir una secuencia ordenada respecto de la proximidad al punto en cuestión, o sea, una secuencia de enunciados de relación como "1 es el más próximo a 0", "2 es el siguiente más próximo a 0", etc. A partir de este concepto relacional de proximidad podemos obtener un concepto absoluto, o de clase, de proximidad, eligiendo convencionalmente un punto a partir del cual todos los que se encuentren a un lado se considerarán próximos. Por último, podemos obtener individuos mediante la intersección de clases.

Los conceptos individuales y de clase son pues, en cierto sentido, más pobres o más débiles que los conceptos relacionales o cuantitativos. Pero esto no significa que podamos prescindir de individuos y clases, aunque no sea más que por el hecho de que para construir relaciones hacen falta conceptos individuales o de clases. Así, por ejemplo, las relaciones se dan siempre entre individuos o entre clases, o entre individuos y clases. Y los conceptos cuantitativos suponen constantes o variables individuales, que son objeto de predicados. Considérese el enunciado "La edad de los planetas de nuestro sistema solar es de unos 5.000 millones de años", enunciado que puede formularse así: "Para todo *x*, si

x es un planeta de nuestro sistema solar, entonces la edad de x en años es de unos 5 000 millones". Este enunciado contiene una variable individual genérica (x), dos conceptos de clases ("planeta" y "nuestro sistema solar"), un concepto cuantitativo ("la edad de x en años es igual a y") y una constante individual inserta en este último ("5 000 millones"). Dicho brevemente: los conceptos más fuertes no nos permiten siempre prescindir de los más débiles: y pueden construirse a partir de éstos.

*Algunas relaciones pueden definirse en términos de clases. Por ejemplo, la relación "el cuadrado de", en el conjunto de los números enteros positivos, pueden representarse como el conjunto infinito de pares ordenados $^2 = \{\langle 1, 1\rangle, \langle 2, 4\rangle, \langle 3, 9\rangle, \ldots\}$. Sin embargo, este método no puede extenderse a fracciones, ni menos aun a números reales. Más aún, el concepto de pertenencia, que es el núcleo de la teoría de conjuntos, no puede definirse como un conjunto de pares ordenados. Estas excepciones bastan para falsear la *tesis extensionalista*, de que todas las propiedades y relaciones son idénticas a sus extensiones o dominios. El nominalismo (o individualismo, o materialismo vulgar) es falso por la misma razón.

La representación de las relaciones como clases no supone su eliminación, sino sólo un *desplazamiento de la atención* que sitúa en primer término los rasgos formales de las relaciones, que es precisamente lo que se desea en la lógica y la matemática y lo que hay que evitar en la ciencia factual. Considérese, por ejemplo, un universo de juguete compuesto exactamente por tres objetos llamados *a, b* y *c,* y entre los cuales no se den más que dos relaciones: "más pesado que' y "más caliente que", ocurriendo además que lo más pesado es lo más caliente. Aunque las dos relaciones son distintas, su representación por medio de la teoría de conjuntos es la misma, puesto que ambas producen los mismos pares ordenados de individuos. Así, si a es más pesado y más caliente que b, el cual es a su vez más pesado y más caliente que c, entonces las dos relaciones quedarán reflejadas por un único conjunto $H = \{\langle a, b\rangle, \langle b, c\rangle\}$, como era de esperar, puesto que la forma de las dos relaciones es la misma. La "reducción" de relaciones y otros conceptos a conceptos de clase (*extensionalización*) es una buena estrategia en la ciencia formal, porque permite que se despliegue la forma y se acentúe la abstracción. Pero, en cambio, predicar el extensionalismo en la ciencia factual sería impropio por la misma razón, a saber: porque en la ciencia factual el contenido es tan importante como la forma. Pero con esto estamos ya pisando terreno estudiado en la sección siguiente.*

Problemas

2.2.1. Identificar los conceptos usados en las proposiciones expresadas por las sentencias siguientes: (*i*) 'El lucero del alba es un planeta'. (*ii*) 'Todos los planetas giran en torno a una estrella al menos'. (*iii*) 'Hay varios sistemas planetarios'.

2.2.2. Mencionar algún concepto de clase, concepto relacional y concepto cuantitativo que pertenezcan todos a la misma familia semántica, como los ejemplos (*i*) "fluido", "más fluido que", "fluidez", y (*ii*) "pesado", "más pesado que", "peso" .

2.2.3. Simbolizar "x está situado a $y°$ de longitud Oeste y $z°$ de latitud Norte", y distinguir la variable individual y las numéricas.

2.2.4. Construir un predicado de tercer grado, o sea, un functor de tres argumentos, que subsuma las siguientes funciones proposicionales: "El cigoto x se desarrolla en el ambiente y", "y es el medio del organismo z", "El cigoto x se desarrolla en el organismo z". Cf. J. H. Woodger, *Biology and Language*, Cambridge University Press, 1952, pp. 126-127.

2.2.5. Averiguar la estructura lógica del concepto de fuerza en la mecánica newtoniana. Tener en cuenta que las fuerzas se ejercen entre pares de cuerpos y que dependen del marco de referencia y, en general, del tiempo. Recuérdese además que, matemáticamente, una fuerza es un vector en un espacio tridimensional, y que un tal objeto es a su vez un triplo ordenado, o sea, $F = \langle F_1, F_2, F_3 \rangle$, siendo las F_i componentes de la fuerza.

2.2.6. (*i*) Definir el concepto de clase "novios" a base del concepto relacional de "compromiso". (*ii*) Formar el concepto de clase "rotación" a partir del concepto cuantitativo "rotación" ("rotación $z°$ de x alrededor de y").

2.2.7. De acuerdo con el uso tradicional, los conceptos son designata de los nombres y los adjetivos, y los términos no pueden expresarse sino en tales categorías gramaticales. ¿Es adecuada esa regla gramatical para identificar los conceptos?

2.2.8. Analizar la sentencia 'Juan García está en alguna parte' y decidir si 'Juan García' y 'alguna parte' designan conceptos. Para una discusión de nombres ambiguos, cf. P. Suppes, *Introduction to Logic*. Princeton, N. J., Van Nostrand, 1957, p. 81.

2.2.9. Discutir la afirmación de Frege según la cual la presencia del artículo determinado singular es siempre señal segura de referencia a un objeto, mientras que el artículo indeterminado acompaña siempre a una palabra que expresa un concepto. Cf. G. Frege, *The Foundations of Arithmetic* [*Grundlagen der Arithmetik*, 1884], Nueva York, Harper, 1960, sec. 51. *Problema en lugar del anterior*: Examinar el "cosismo" ("No existen más que cosas individuales") como posible justificación doctrinal del extensionalismo (anti-intensionalismo): Véase M. Bunge, *Sense and Reference*, pp. 118-120, Dordrecht, Reidel, 1974.

2.2.10. La lógica de los conceptos se llama a veces *lógica de términos*. ¿Qué justificación tiene esta expresión? ¿Sigue estando justificada si se establece la distinción clara entre categorías lingüísticas y categorías lógicas? El término 'concepto', por otra parte, está en desuso. ¿Es ésta una señal de decadencia del pensamiento conceptual, como ha sido dicho?

2.3. INTENSIÓN Y REFERENCIA

Todo concepto tiene una *intensión* o connotación, una *referencia* o denotación, y una *extensión* o dominio de aplicabilidad. La intensión de "vida" es el conjunto de las propiedades que caracterizan a los seres vivos, o sea, el metabolismo, la autorregulación, la adaptabilidad, la reproductibilidad, etc. La referencial de "vida" es la colección de los seres vivos presentes, pasados y futuros; esta colección coincide en este caso con la extensión del concepto. La intensión de "alma" está compuesta por los rasgos de inmaterialidad, separabilidad del cuerpo, acción rectora sobre éste, etc. La clase de referencia de "alma" es el conjunto de todas las almas habidas y por haber; en cambio su extensión es, según la psicología fisiológica, el conjunto vacío, ya que no hay objeto real que responda a dicha descripción. Ningún concepto propiamente dicho carece de intensión y referencia, pero un concepto puede ser genuino y tener una extensión vacía. En ciencia y

en tecnología, la intensión y la referencia de los conceptos se determinan por la investigación teórica (se postulan), en tanto que su extensión o dominio de validez se determina por la investigación de laboratorio o de campo.

La intensión $I(C)$ de un concepto C es, pues, el conjunto de las propiedades y relaciones P_i subsumidas bajo el concepto, o que el concepto, por así decirlo, sintetiza. Brevemente:

$$I(C) = \{P_1, P_2, \ldots, P_n, \ldots\}, \qquad [2.8]$$

fórmula que supone que las P_i son poseídas por los objetos que constituyen la referencia de C. Las P_i pueden ser formales o no formales, según que C sea formal o no formal. Así, en "número par" la paridad es un concepto asignado al concepto de número entero; no hay número par que no sea un concepto. (La clase de referencia de "par" es la clase de números enteros; su extensión es el subconjunto de los números pares.) En cambio, la propiedad de ser una unidad de materia viva se asigna al referente o correlato de "célula", no al concepto de célula.

La intensión de los conceptos se comporta inversamente respecto de su extensión: cuantas más son las propiedades reunidas, tantos menos los individuos que las presentan. Dicho de otro modo: la intensión de los conceptos generales está incluida en –o es a lo sumo idéntica con– la intensión de los correspondientes conceptos específicos. Simbólicamente:

$$\text{Si } (x)(Ex \rightarrow Gx) \text{ entonces } I(G) \subseteq I(E), \qquad [2.9]$$

Fórmula en la cual 'E' significa una especie, 'G' un género y '$\subset$' la relación de inclusión entre clases. La diferencia intensional entre el género y la especie (la *differentia specifica* escolástica), es, pues, la diferencia entre los anteriores conjuntos, o sea, el complemento de $I(G)$ en $I(E)$:

$$\textit{Differentia}\ (E, G) = I(E) - I(G) \qquad [2.10]$$

Por ejemplo, si G = "triángulo", y E = "triángulo rectángulo", entonces *Differentia* (E, G) = "un ángulo es recto".

Condición suficiente para la determinación inequívoca de la intensión de un concepto es que se disponga de una descripción o análisis completo del concepto o de su correlato. Supongamos, en efecto, que un C dado pueda describirse o analizarse exhaustivamente como compuesto por las propiedades $P_1, P_2, \ldots, P_n$, de tal modo que podamos escribir la equivalencia:

Para todo x, x es un C si y sólo si x es un P_1, y x es un P_2, y ..., y x es un P_n,

o más brevemente,

$$(x)\ [Cx \leftrightarrow P_1x \ \&\ P_2x \ \&\ \ldots \ \&\ P_nx] \qquad [2.11]$$

Es claro, entonces, que la intensión de C es el conjunto de todas las P_i. La existencia de una descripción completa es la única garantía de que hemos determinado totalmente la intensión de un concepto; pero no es absolutamente necesario que todo concepto tenga una intensión precisamente determinada.

Aunque la descripción completa de los seres individuales existentes, y hasta la de ciertas entidades construidas (señaladamente, los conjuntos infinitos) está más allá de las capacidades humanas, muchas veces es posible una determinación cuidadosa del conjunto de las *características* o propiedades peculiares (no necesariamente esenciales), por lo menos en la medida suficiente para asegurar una aplicación no ambigua del concepto. Supongamos que, partiendo de todas las propiedades que constituyen la intensión de C, se encuentra sólo un reducido número, m, de propiedades peculiares de C. O sea, supongamos que $P_1, P_2, \ldots, P_m$ son necesarias y suficientes para una distinción inequívoca entre C y cualquier otro concepto. Llamemos *notas inequívocas* de C a esas peculiares propiedades que son esenciales para nuestro manejo de C, aunque acaso son inesenciales al correlato de C. Diremos que el conjunto de las *notas inequívocas* de C constituye el *núcleo intensional* de C:

$$I_{\text{núcleo}}(C) = \{P_1, P_2, \ldots, P_m\} \qquad [2.12]$$

Es claro que el núcleo intensional está incluido en la intensión total. $I_{\text{núcleo}}(C) \subset I(C)$, puesto que m es menor que n ($\leq \infty$), que es el número (indeterminado) de las propiedades efectivamente poseídas por el correlato de C. Así, por ejemplo, la mayoría de los zoólogos están de acuerdo en que el concepto de mamífero no tiene más que tres o cuatro notas inequívocas, todas las cuales son de carácter osteológico y se refieren al complejo maxilar-oído medio. Esto les hace considerar estas notas inequívocas como definidoras del concepto de clase “mamíferos”, aunque ninguna de ellas se refiere de un modo obvio a la posesión de glándulas mamarias, por no hablar ya de identidad con dicha propiedad.

La intensión nuclear de un concepto, constituida por sus notas inequívocas, es sin duda insuficiente para caracterizarlo completamente, pero suministra lo que podríamos llamar una *definición de trabajo* del concepto, la cual puede tener el siguiente aspecto:

$$(x)\ [Cx =_{\text{dft}} P_1x \ \&\ P_2x \ \&\ \ldots\ \&\ P_mx] \qquad [2.13]$$

Recuérdese que las m propiedades definitorias pueden ser una pequeña parte de las que constituyen la intensión total (y acaso desconocida), y que pueden no ser en modo alguno esenciales: una definición de trabajo de un concepto no nos suministra la esencia de la referencia del concepto, sino que es un simple instrumento clasificatorio. Pero desde luego, cuanto menos superficiales o derivadas son las propiedades escogidas como notas inequívocas, tanto más profundo conocimiento recogerá la definición de trabajo, y tanto más natural será la clasificación de individuos llevada a cabo con su ayuda.

La intensión nuclear de un concepto, explicitada en una definición de trabajo o especificada de un modo menos claro, es necesaria pero no basta para determinar el dominio de aplicación, o extensión, del concepto considerado. La extensión de un concepto es el conjunto de todos los objetos, reales o irreales, a los que puede aplicarse el

concepto. La extensión de un concepto puede ser un conjunto infinito, como en el caso de "número natural"; o un conjunto finito, pero ilimitado, como en el caso de "organismo", o un conjunto finito y limitado, como en el caso "país". Incluso puede constar de un único miembro (por ejemplo, la extensión de "3" es 3), o de ninguno (por ejemplo, "vidente"). Designaremos la clase vacía (o nula, o conjunto vacío) por '∅', y la clase universal por 'U'.

La extensión $E(C)$ de un concepto de clase puede, pues, definirse así:

$$E(C) =_{df} \{x \mid C(x)\} \qquad [2.14]$$

que puede leerse: 'la extensión de C equivale por definición al conjunto de los objetos que satisfacen la condición $C(x)$, o que tienen la propiedad C'. Dicho de otro modo: la extensión o denotación de C es el conjunto de los objetos con las propiedades que caracterizan a C, o, por lo menos, con las notas inequívocas de C. En el caso de conceptos que tienen correlato real, puede ser útil analizar ulteriormente la extensión en el conjunto $A(C)$, de los objetos actuales comprendidos en la extensión de C, y el conjunto $P(C)$, de los objetos posibles que satisfacen la función $C(x)$: $E(C) = A(C) \cup P(C)$. Por ejemplo, la extensión total de "hombre" está constituida por la población humana actual (incluidos nuestros enemigos) y el conjunto de todos los hombres pasados y futuros. La extensión actual de un concepto de clase se llama frecuentemente *colección, agregado* o *población,* mientras que la extensión total se llama generalmente *clase;* pero la terminología de estas cuestiones es aún vacilante.

Las anteriores consideraciones van a permitirnos introducir la noción de generalidad de conceptos. Diremos que un concepto C' es *más general* que otro concepto C, o que C está *subsumido bajo* C' si y sólo si la intensión de C' está incluida en la intensión de C, o la extensión de C está incluida en la extensión de C', *Simbólicamente:

$$C' > C \leftrightarrow [I(C') \subset I(C)] \vee [E(C) \subseteq E(C')] \qquad [2.15]$$

Además:

$$[I(C') \subset I(C)] \rightarrow [E(C) \subseteq E(C')] \qquad [2.16]$$

y

$$[I(C') = I(C)] \rightarrow [E(C) = E(C')] \qquad [2.17]$$

El signo de igualdad en [2.17] vale para pares de conceptos como "animal racional" y "animal racional social", que se consideran con la misma extensión, aunque el primero es más general que el segundo. El recíproco de [2.17] no es verdadero: por ejemplo, "fantasma" y "aparecido" tienen la misma extensión –a saber, el conjunto vacío–, pero diferentes intensiones, como es obvio. Esto sugiere que la significación y el sentido de un concepto no están determinados sólo por su extensión.

Lo dicho puede generalizarse para conceptos relacionales y cuantitativos, o sea, para conceptos cuya estructura es la de un predicado poliádico.

Por ejemplo, la *extensión* del predicado diádico $C(x, y)$ puede definirse como el conjunto de los pares ordenados de sus argumentos, o sea:

$$E(C) =_{df} \{ \langle x, y\rangle \mid C(x, y)\} \quad [2.18]$$

Éste es el conjunto de todos los pares posibles compuestos por un valor de la variable x y otro valor de la variable y. La generalización de estas nociones para predicados de órdenes superiores es inmediata.

*Ahora podemos considerar más detenidamente la forma y el contenido de las *magnitudes*. Vimos en la seccción 2.2 que la temperatura de un cuerpo σ, expresada en una escala s, puede analizarse así:

$$T(\sigma, s) = t \quad [2.19]$$

siendo t un número real. Dicho de otro modo, T es una *función* de pares ordenados cuerpo-escala a números reales:

$$T : C \times S \rightarrow R \quad [2.20]$$

donde C designa la colección de cuerpos, S la de escalas de temperatura, y R la recta real. $C \times S$ es el *producto cartesiano* de C por S, o sea, el conjunto de todos los pares ordenados posibles de la forma $\langle c, s\rangle$, donde c designa un cuerpo y s una escala. La intensión de T está determinada por la termodinámica. En cambio, la clase de referencia de T es la colección de todos los cuerpos conocidos y desconocidos. Y la extensión de T se limita a los cuerpos conocidos: aquellos a los que sabemos que se aplica el concepto T. De modo que, mientras la clase de referencia de T es fija (o sea, es un conjunto propiamente dicho), su extensión es una colección abierta, que presumiblemente se amplía a medida que se descubren nuevos cuerpos.

En general, una magnitud M puede analizarse como una función del producto cartesiano de n colecciones $A, B, \ldots, N$, por lo menos una de las cuales está formada por cosas materiales, a un conjunto R_0 de números incluido en la recta real R. O sea, en general se tendrá

$$M : A \times B \times \ldots \times N \rightarrow R_0 \quad [2.21]$$

Así, por ejemplo, el dominio de la función masa M_C en física clásica es el producto cartesiano del conjunto C de cuerpos por el conjunto U_M de unidades de masa, mientras que el dominio de la función masa M_r en física relativista es el producto cartesiano del conjunto C por el conjunto F de marcos de referencia y el conjunto U_M. Dicho brevemente,

$$M_C : C \times U_M \rightarrow R^+, \qquad Mr : C \times F \times U_M \rightarrow R^+, \quad [2.22]$$

siendo R^+ el conjunto de los números reales positivos. El concepto relativista de masa es, pues, más general que el correspondiente concepto clásico. Pero ambos se refieren parcialmente a cuerpos, de modo que son comparables, no “inconmensurables” como se sostiene a veces.

Cuando decimos que la masa clásica del cuerpo *a*, expresada en gramos, es igual al número *m*, esta proposición se refiere al cuerpo *a*, al gramo, y al número *m*. Dicho de otro modo, la clase de referencia del concepto M_c está formada por la totalidad *C* de los cuerpos, la totalidad U_M, de las unidades de masa, y la semirrecta real positiva R^+. De estos tres conjuntos sólo *C* está compuesto por cosas materiales: tanto las unidades de masa como los números son conceptos. Diremos que la *referencia total* de M_c es $C \cup U_M, \cup R^+$, en tanto que la *referencia fáctica* de M_c es *C*, y la de M_r es $C \cup F$, donde '$\cup$' designa la unión o suma lógica de conjuntos. En el caso general de una magnitud *M* con dominio $A \times B \times \ldots \times N$, convendremos en que su clase de referencia total es la unión de todos los conjuntos que figuran en la función, en tanto que su *clase de referencia fáctica* es la unión de los conjuntos de cosas materiales que figuran en su dominio. En suma,

$$R(M) = A \cup B \cup \ldots \cup N \cup \mathrm{R}, \quad R_f(M) \subset R(M). \qquad [2.23]$$

Consideremos por ejemplo el concepto de duración o lapso de tiempo entre dos acontecimientos puntuales *e* y *e'*, respecto de un marco de referencia *f*, y expresado en una escala temporal *s*. Tal duración será un número *t*, que puede tratarse como el valor de una función *D* en el "punto" $\langle e, e', f, s \rangle$. En otras palabras, el concepto de duración es una función de la forma

$$D : E \times E \times F \times S_D \rightarrow R^+, \qquad [2.24]$$

donde *E* es el conjunto de todos los acontecimientos puntuales, *F* el de todos los marcos de referencia y S_D el de todas las escalas de tiempo. La referencia fáctica de *D* es $E \cup E \cup F = E \cup F$.

La forma de una magnitud depende del contexto (por ejemplo, teoría) en que se presenta. Así, como hemos visto, en mecánica clásica la masa depende exclusivamente del cuerpo de que se trata (el referente), mientras que en mecánica relativista depende también del marco de referencia. (Otro tanto ocurre con las distancias, intensidades de campo, temperaturas, etc.) Lo mismo vale para la intensión: también ésta depende de la teoría que alberga al concepto en cuestión. En particular, el contenido de un concepto científico está determinado por los enunciados de ley en que figura, y a su vez tales fórmulas legales son constituyentes de teorías fácticas. Por ejemplo, el concepto relativista de masa está determinado por algunos enunciados de ley similares a los enunciados clásicos correspondientes, así como por otros (por ejemplo, "$m = E/c^2$") carentes de correlato clásico. En resolución, el significado de un concepto científico es contextual y, más precisamente, depende de la función que desempeña en una teoría. Sólo ésta podrá decidir cuál es la intensión y cuál la referencia del concepto. (En cambio, sólo la experiencia podrá decidir cuál es la extensión o dominio de validez del concepto. En particular, podrá ocurrir que el concepto, aunque dotado de un significado preciso, tenga una extensión vacía.)

Estipularemos que, en general, el significado de un concepto está dado por su intensión y su referencia en un pie de igualdad. Más precisamente, definiremos el *significado* del concepto *C* como el par ordenado: intensión de *C*-referencia de *C*. Brevemente,

$$Sig\,(C) =_{\mathrm{df}} \langle I(C), R(C)\rangle. \qquad [2.25]$$

Si se prefiere: si el signo *s* designa al concepto *C*, entonces la *significación* de *s* es igual al significado de *C*. O, más brevemente:

$$\text{Si } s \; Des \; C, \text{ entonces } Signif\,(s) =_{\mathrm{df}} \langle I(C), R(C)\rangle \qquad [2.26]$$

En las ciencias se maneja frecuentemente lo que puede llamarse la *intensión nuclear* $I_n(C)$ de un concepto, determinado por sus notas inequívocas, según la fórmula [2.13]. Análogamente, a menudo se considera un subconjunto $R_n(C)$ de la referencia $R(C)$ de *C*, a saber, el dominio fáctico ya explorado, dejándose el resto para investigación futura. Esto sugiere introducir el concepto de *significado nuclear* como subconcepto de [2.26]:

$$Sig_n\,(C) =_{\mathrm{df}} \langle I_n(C), R_n(C)\rangle. \qquad [2.27]$$

Como dos pares ordenados son idénticos si y sólo si los miembros correspondientes lo son, dos signos, *s* y *s*', tendrán la misma significación –serán *sinónimos*– en un contexto dado si y sólo si designan conceptos de la misma intensión y la misma referencia:

$$s \; Sin \; s' =_{\mathrm{df}} [s \; Des \; C \; \& \; s' \; Des \; C' \rightarrow I(C) = I(C') \; \& \; R(C) = R(C')] \qquad [2.28]$$

(Obviamente, sólo un conocimiento de las intensiones y referencias completas permitirá decidir si se trata de signos con significaciones idénticas o simplemente parecidas.)

Si dos signos designan conceptos de la misma referencia, pero intensiones diferentes, o a la inversa, entonces tienen significaciones distintas. Por ejemplo, en geometría euclídea, las expresiones 'triángulo equiángulo' y 'triángulo equilátero' tienen la misma referencia e incluso la misma extensión; o sea, lo que vale para el primero vale para el segundo y viceversa. En efecto, la igualdad extensional de los conceptos en cuestión se sigue del teorema según el cual todos los triángulos equiángulos son equiláteros, y recíprocamente. Ésta es una equivalencia de la forma "$(x)(Ax \leftrightarrow Lx)$".

Los predicados "*A*" y "*L*" no son idénticos y, por lo tanto, el teorema no es una tautología sino que tiene un contenido geométrico preciso. En resolución, la extensión de un concepto no agota su significado.

La anterior discusión, con sus resultados, sintetiza dos doctrinas de la significación: la doctrina *extensionalista*, según la cual la significación de un concepto es idéntica con su extensión, y la doctrina *intensionalista*, según la cual la significación de un concepto es idéntica con su intensión. Como la extensión (o, mejor, la referencia) y la intensión son dos aspectos complementarios, el extensionalismo y el intensionalismo son doctrinas unilaterales. El extensionalismo es legítimo en la ciencia formal, en la cual ha sido una ayuda considerable en la tarea de basar toda la matemática en la teoría de conjuntos, la cual pone en primer término el punto de vista de la extensión. En la ciencia formal pueden construirse arbitrariamente conjuntos de individuos, de subconjuntos, de pares, etc., sin tener en cuenta la naturaleza de los individuos miembros de esos conjuntos, pares, etc.

La posesión de propiedades comunes, aparte de la mera propiedad de pertenecer al conjunto dado, es lo que da a un conjunto la unidad que pueda tener, y lo que justifica que se le considere una *clase*. Pero el matemático y el lógico no prestan atención alguna a la unidad que diferencia a una clase natural o a cualquier otra agrupación objetiva de un conjunto arbitrario. En cambio, el estudioso de semántica y el cultivador de una ciencia factual no pueden permitirse ignorar las intensiones: no sólo es poco frecuente que manejen caracterizaciones extensionales o denotativas de clases, sino que siempre aspiran a caracterizar una clase por sus propiedades, o sea, intencionalmente, y a hallar alguna muestra objetiva de ella. Para semánticos y científicos, las referencias y las intensiones van siempre juntas.*

Vamos a aplicar ahora lo que hemos aprendido acerca de la lógica de los conceptos a la metodología de los mismos. Lo haremos examinando la operación conceptual más elemental que se realiza en la ciencia, a saber, la clasificación.

Problemas

2.3.1. Determinar la intensión de "número primo". Teniendo en cuenta que los números primos pueden construirse a voluntad, pero que no existe fórmula conocida alguna que dé el n-ésimo número primo (o sea, que no existe ninguna función computable de la forma "n-ésimo primo = = función de n" que sea conocida), ¿cómo podría caracterizarse la extensión de este concepto? *Problema en lugar del anterior*: Reformular [2.10] con la ayuda de la definición: $A - B = A \cap \bar{B}$. Calcular la suma booleana de $I(E)$ e $I(G)$, recordando que $A + B =_{df} (A - B) \cup (B - A)$, y que $I(G) - \overline{I(E)} = \varnothing$.

2.3.2. Discutir el siguiente texto de Frege, tomado de *The Foundations of Arithmetic* [1884 alemán], Nueva York, Harper, 1960, sec. 53: "Al hablar de propiedades que se afirman de un concepto no pienso, naturalmente, en las características que constituyen ese concepto. Estas últimas son propiedades de las cosas que caen bajo el concepto, no propiedades del concepto. Así, 'rectangular' no es una propiedad del concepto 'triángulo rectángulo'; pero la proposición según la cual no existe ningún triángulo rectilíneo rectángulo y equilátero afirma una propiedad del concepto 'triángulo rectilíneo rectángulo y equilátero'; pues asigna a ese concepto el número cero." *Problema en lugar de ése*: Distinguir entre la interpretación extensional y la intensional de 'especie', y hallar si el biólogo puede prescindir de una de las dos.

2.3.3. ¿Cómo determinar lo que "es" un estudiante de Oxford, es decir, la denotación y la connotación del concepto "estudiante de Oxford"? *Problema en lugar de ése*: ¿Determina ("define", suele decir en su jerga) el biólogo una especie por la mera enumeración de sus miembros, sin tener en cuenta intensiones –como afirmaría el filósofo nominalista? Indicación: recuérdese cómo se determina la pertenencia de un individuo a una especie.

2.3.4. Determinar la connotación y la referencia de "distancia" en un espacio unidimensional, como la línea recta. *Problema en lugar del anterior*: Comparar los conceptos de circunferencia y de elipse. ¿Cuál es más general? ¿Cuál es más rico?

2.3.5. Determinar la connotación y la referencia de "estado mental". *Problema en lugar de ése*: En la fórmula

$$d(P, P') = [(x - x')^2 + (y - y')^2] /2,$$

que da la distancia entre dos puntos cualesquiera, *P* y *P'*, en el plano euclidiano, ¿qué es la connotación y qué son las extensiones?

2.3.6. (*i*) Examinar los conceptos de intensión nuclear y de definición de trabajo a la luz de la doctrina aristotélica del concepto. (*ii*) Relacionar el concepto de definición de trabajo con el de clase definida. *Problema en lugar del anterior*: En el sistema aristotélico son coextensivos los conceptos "eterno", "necesario" y "perfecto", que no lo son en otros sistemas. Explicitar el carácter contextual de la extensión y la intensión; relativizar las fórmulas de esta sección desde el punto de vista de un posible sistema constituido por ellas.

2.3.7. En la ciencia contemporánea, la extensión del concepto "fuerza vital" es vacía. ¿Basta esto para condenar al concepto de fuerza vital por ser un sinsentido, o más bien para considerarlo como concepto sin función?

2.3.8. La fórmula de Einstein "$E = mc^2$" se considera a veces como significativa de que la "masa" y la "energía" tienen la misma extensión y prácticamente la misma intensión, simplemente porque los dos conceptos se encuentran vinculados de un modo invariable por dicho enunciado legaliforme. ¿Es correcta esa interpretación? Indicación: empezar por identificar la(s) variable(s) individual(es) y hallar una clase de sistemas con energía y sin masa.

2.3.9. Dar una explicación extensional de la intensión por interpretación de los predicados de [2.8] como clases. Hallar el límite de esta interpretación de la intensión como una clase de clases. *Problema en lugar del anterior*: Hallar el alcance del principio de extensionalidad, según el cual "Si dos predicados tienen la misma extensión son idénticos"; o, hablando de clases, "Dos clases son idénticas en el caso, y sólo en el caso, de que tengan los mismos miembros", Este axioma es esencial para la teoría de conjuntos. ¿Se aplica a las clases naturales, tales como las especies biológicas?

2.3.10. La escuela hermenéutica o interpretivista en estudios sociales, de W. Dilthey a C. Geertz, sostiene que las acciones humanas tienen significados, de modo que la tarea del estudioso es "interpretarlas" a la manera en que se interpretan textos. Examinar esta opinión y averiguar si los "significados" atribuidos a las acciones son otra cosa que metas, de modo que las "interpretaciones" no son sino hipótesis más o menos justificadas. V. C. Geertz, *The Interpretation of Cultures* (Nueva York, Basic Books, 1973) y M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science* (New Haven CT, Yale University Press, 1996) [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

2.4. DIVISIÓN, ORDENACIÓN Y SISTEMÁTICA

Hasta el momento hemos tratado los conceptos desde un punto de vista lógico; ahora vamos a considerarlos teniendo en cuenta sus funciones metodológicas. Desde este punto de vista metodológico, los conceptos son instrumentos utilizados para distinguir entidades y agruparlas; ellos nos permiten realizar análisis y síntesis conceptuales y empíricas. En particular, los conceptos individuales nos sirven para distinguir entre individuos, y los conceptos de clases para establecer clasificaciones. Algunos conceptos relacionales posibilitan la comparación y la ordenación, y los conceptos cuantitativos son el núcleo conceptual de la medición.

Los conceptos individuales determinados tienen una gran capacidad resolutoria, discriminatoria, pero no tienen ninguna de síntesis o sistematización. Los conceptos individuales genéricos (las variables individuales) no tienen ningún poder resolutorio, puesto

que denotan individuos no descritos, de algún género, pero, por otro lado, son la razón de la generalización o síntesis; la sustitución de constantes específicas por variables señala precisamente el comienzo de la generalización. Los conceptos de clases permiten a la vez la síntesis y la discriminación entre conjuntos. Los conceptos relacionales nos permiten hacer distinciones aún más finas y establecer vínculos entre conceptos. Por último, los conceptos cuantitativos nos llevan a las discriminaciones más sutiles y exactas, y, cuando se combinan entre ellos en enunciados legaliformes, permiten obtener la sistematización más firme y clara de las ideas. No puede, pues, asombrar el que el trabajo conceptual de la ciencia factual empiece con variables y clases y culmine con las magnitudes.

La clasificación es el modo más simple de *discriminar* simultáneamente los elementos de un conjunto y de *agruparlos* en subconjuntos, o sea, el modo más simple de analizar y sintetizar. Lo clasificado se llama *universo* o *dominio del discurso*, o '*U*', por abreviar. El universo del discurso puede ser cualquier conjunto: una clase de individuos o una clase de conjuntos; puede ser discreto (numerable) o continuo (no numerable), compuesto de cosas (por ejemplo, una población de organismos), de hechos (por ejemplo, nacimientos), de propiedades (por ejemplo, longitudes de onda), o de ideas (por ejemplo, números). El tipo de la clasificación dependerá del objetivo (gnoseológico o práctico) y de las relaciones existentes entre los miembros y subconjuntos del conjunto dado (U). Pero algunos principios de clasificación son de naturaleza lógica, esto es, independientes del objetivo y del tema. Éstos son, por tanto, los que debemos estudiar en primer lugar.

Uno de los principios de la clasificación correcta dice que los caracteres o propiedades elegidos para llevar a cabo la agrupación deben mantenerse a lo largo de todo el trabajo: por ejemplo, el paso de caracteres esqueléticos a caracteres fisiológicos en la clasificación de los vertebrados producirá no sólo clases distintas, sino incluso distintos sistemas de clases, es decir, otras clasificaciones. Otra regla de la clasificación correcta es que los conjuntos de un mismo rango jerárquico (por ejemplo, especies biológicas) deben ser exhaustivos y disyuntos dos a dos, o sea, deben cubrir, juntos, el campo entero, y no deben tener ningún miembro en común; esta regla requiere una modificación en el caso de la taxonomía evolucionista (cf. sección 3.1). Una tercera regla no es lógica, sino metodológica, a saber, que las varias clasificaciones de un mismo universo del discurso deben coincidir (por lo que hace a extensión), si es que deben ser agrupaciones naturales, no artificiales. Estas tres reglas se violan con mucha frecuencia, ya a causa de descuidos lógicos, ya a causa de dificultades reales como son las planteadas por los casos limítrofes.

La forma más elemental de clasificación es la *división*: consiste en distribuir los elementos del universo del discurso entre cierto número de clases o casilleros, disyuntos dos a dos, y que no se encuentran en relación sistemática entre ellas. La división más simple es, naturalmente, la *dicotomía*: es tan sencilla que por regla general se presenta en el primer estadio de un análisis. Basta un concepto para sugerir una dicotomía. Así, por ejemplo, el concepto "comestible" sugerirá por sí mismo una división dicotómica de todos los seres vivos (universo del discurso U) en comestibles (A) y no-comestibles (no-A, o $\bar{A}$, el *complemento de* A *en* U):

$$\mathscr{A} = \{x \mid \mathscr{A}(x)\};\ \bar{\mathscr{A}} = \{x \mid \neg\mathscr{A}(x)\};\ U = \mathscr{A} \cup \bar{\mathscr{A}};\ \mathscr{A} \cap \bar{\mathscr{A}} = \varnothing$$

$\varnothing$ designa el conjunto vacío. Tal fue probablemente la primera clasificación de los organismos, una clasificación atendiendo a su uso más primitivo. Luego se desarrollaron clasificaciones algo más sutiles –más finas y, al mismo tiempo, menos antropocéntricas–, como la división por hábitos, a saber, la división en organismos acuáticos, anfibios, terrestres y aéreos; se trataba de una tetracotomía:

Acuáticos	Anfibios	Terrestres	Aéreos

$$\mathscr{A}_1 \cup \mathscr{A}_2 \cup \mathscr{A}_3 \cup \mathscr{A}_4 = U, \qquad \mathscr{A}_i \cap \mathscr{A}_j = \varnothing, \text{ con } i \neq j$$

En esa primitiva clasificación ecológica puede verse un comienzo de ordenación; pero, en sustancia, los grupos son copresentes sin relaciones lógicas entre los correspondientes conceptos, y el orden es extrínseco (geográfico) más que intrínseco (biológico).

Después de la división viene inmediatamente, en orden de complejidad creciente, la *ordenación* del universo dado por medio de alguna relación asimétrica y transitiva que exista entre dos miembros cualesquiera del conjunto. Tomemos, por ejemplo, la ordenación de los elementos químicos; esa ordenación se realiza teniendo en cuenta el número atómico que caracteriza a cada elemento. El problema de la ordenación de los 103 elementos conocidos puede resumirse del modo siguiente:

Universo del discurso = conjunto de los elementos químicos.
Respecto o propiedad elegidos = el número atómico.
Relación ordenadora: el functor aritmético "$\leq$".

La solución del problema es la *ordenación lineal*, estrictamente simple:

H – He – Li – Be – B – ... Cf – Es – Fm – Md – No – Lw

(Esta secuencia de símbolos, de aspecto tan sencillo, es resultado de un trabajo experimental y teorético increíblemente complicado, porque los números atómicos no son precisamente propiedades fenoménicas superficiales.)

La anterior ordenación de los elementos químicos es correcta, pero no nos ilustra aún demasiado acerca de su universo del discurso: no dice nada acerca de las agrupaciones naturales de los elementos. El desiderátum de la formación de grupos en la ciencia pura –a diferencia de lo que ocurre en la ciencia aplicada– no es la ordenación o división más sencilla y más discriminatoria (más analítica), sino una disposición que combine a la vez un gran *poder resolutorio* con la mayor conexión o *sistematicidad* posible, tendente a representar la conexión objetiva (si la hay) de los miembros del conjunto. Este desiderátum no se consigue, en el caso de los elementos químicos (ni tampoco, por lo demás, en el de las especies biológicas), con el mero encasillamiento de la división ni con la ordenación en cadena (lineal). En el caso de la química se obtiene una solución mediante una disposición bidimensional en la cual el orden lineal basado en el número atómico se com-

bina con una división respecto de la valencia y otras propiedades químicas relacionadas con ella. Se trata, naturalmente, del *sistema periódico* de Mendeleiev, una clasificación sistemática de especies atómicas, los miembros de la cual son clases constituidas en clases más amplias (grupos o periodos) de propiedades químicas análogas, de tal modo que cada cual es un género *natural*. Así, por ejemplo, todos los gases "inertes" están situados en una sola columna (grupo), y grupos de elementos de propiedades semejantes recurren según un periodo de ocho.

Las agrupaciones científicas más profundas –y, por tanto, más fecundas– no son ni divisiones ni ordenaciones, sino lo que llamaremos *clasificaciones sistemáticas*, en las cuales las clases están vinculadas por una o más *relaciones* que denotan relaciones reales. Una clasificación sistemática no es un mero encasillamiento ni una mera asignación de lugar y nombre (un catálogo), como la mítica agrupación de los animales por Noé: es el resultado de una operación por la cual se relacionan conceptos –y sus referencias, si las tienen– unos con otros, de tal modo que resulte una conexión o un sistema de algún tipo. Y la mejor clasificación sistemática es la que consigue la agrupación más *natural*, menos arbitraria, menos subjetiva.

El tipo de clasificación sistemática mejor conocido es el de la biología, en el cual cada grupo grande (categoría o jerarquía taxonómica) se divide en grupos subordinados, cada uno de los cuales se subdivide a su vez, y así sucesivamente hasta que se llega a un conjunto ya no constituido por subconjuntos, sino por poblaciones concretas o por individuos. La jerarquía linneana es, en zoología, esencialmente como sigue:

Reino (p. ej., Animalia)	T_7
Phylum (p. ej., Chordata)	T_6
Clase (p. ej., Mammalia)	T_5
Orden (p. ej., Primates)	T_4
Familia (p. ej., Hominidae)	T_3
Género (p. ej., *Homo*)	T_2
Especie (p. ej., *H. Sapiens*)	T_1

Sistemas taxonómicos más recientes contienen subdivisiones más finas. La relación que media entre los varios rangos o niveles es la inclusión entre clases, $\subseteq$, que connota inclusión propiamente dicha ($\subset$) o identidad (=). Entre la mayoría de los niveles hay una relación de inclusión propiamente dicha. Pero, en algunos casos, un género o algún otro taxon se considera constituido por una sola especie (o la correspondiente categoría inferior); en estos casos vale la relación de identidad: Especie = Género. (Pero éste es un punto discutido.) Dicho brevemente: los principales grupos taxonómicos de la clasificación linneana están relacionados del modo siguiente:

$$T_1 \subseteq T_2 \subseteq T_3 \subseteq T_4 \subseteq T_5 \subseteq T_6 \subseteq T_7$$

La relación ordenadora $\subseteq$ tiene las siguientes propiedades, que vimos en la sección 2.2: (*i*) Es no-simétrica, o sea: si $A \subseteq B$, entonces $-(B \subseteq A)$. (*ii*) Es *reflexiva*: $A \subseteq A$, mientras que la relación de inclusión propiamente dicha, $\subset$, es irreflexiva: $-(A \subset A)$. (*iii*) Es

transitiva: si $A \subseteq B$ y $B \subseteq C$, entonces $A \subseteq C$. Relaciones como $\subseteq$, que son no-simétricas, reflexivas y transitivas, producen una *ordenación parcial*, del universo del discurso dado. Para obtener una *ordenación completa*, o simple, que dé de sí una cadena, hace falta una relación asimétrica, irreflexiva y transitiva, como la de inclusión propiamente dicha.

*Muchas categorías son compuestas: así, un phylum dado puede contener sub-phyla, y corrientemente contiene varias clases; a su vez, una clase dada se divide en varios órdenes, etc. Esto significa que un nivel taxonómico T_i se divide en casillas o taxa "horizontales, T_{i1}, T_{i2}, ..., T_{in}". Así, si una categoría del orden género, T_2, consta de tres especies, designaremos a éstas por T_{11}, T_{12} y T_{13}, que serán conjuntos subordinados al conjunto T_1. En general, para la categoría $(i-1)$-ésima:

$$T_{i+1} = \bigcup_{j=1}^{n} T_{ij} \text{ (suma lógica de los conjuntos con } j \text{ de 1 a } n),$$

con la condición de que ninguno de esos grupos horizontales tenga miembros en común con otros, o sea:

$$\bigcap_{j=1}^{n} T_{ij} = \varnothing \text{ (producto lógico de los conjuntos con } j \text{ de 1 a } n).$$

La primera fórmula dice que la división es exhaustiva, y la segunda dice que las partes son disyuntas dos a dos, o recíprocamente excluyentes. (Hablaremos de casos limítrofes en la sec. 3.1.)

Consideremos, por ejemplo, un universo del discurso U de la categoría orden, subdividido en dos familias, F_1 y F_2, una de las cuales tiene tres géneros y otra dos (G_i), cada uno de los cuales contiene a su vez dos o tres especies (E_i). Una clasificación linneana del conjunto inicial consiste en el siguiente conjunto de ocho enunciados:

$$F_1, F_2 \subset U$$
$$G_1, G_2, G_3 \subset F_1; \qquad G_4, G_5 \subset F_2$$
$$E_1, E_2 \subset G_1;\ E_3, E_4 \subset G_2;\ E_5, E_6, E_7 \subset G_3;\ E_8, E_9, \subset G_4;\ E_{10}, E_{11}, E_{12} \subset G_5.$$

Hay útiles expedientes para exponer gráficamente una *jerarquía* de ese tipo, como los diagramas de *Euler-Venn*, muy conocidos por la teoría de conjuntos, y los *árboles* corrientemente usados en la teoría de grafos. (Cf. figs. 2.2 y 2.3.) Se trata de representaciones visuales y equivalentes de una misma red de relaciones lógicas; son lógicamente equivalentes. Además, lo que ponen de manifiesto son relaciones puramente *lógicas* entre conjuntos; en particular, un diagrama de Euler-Venn no representa un conjunto de relaciones de parte a todo entre cosas, ni un árbol representa en este caso un árbol genealógico.

Observemos los principales rasgos formales y semánticos de una *jerarquía*, es decir, de un sistema taxonómico. (*i*) Toda jerarquía tiene un *comienzo* único, que en biología es la categoría taxonómica más alta tomada en consideración (en el anterior ejemplo es un género). (*ii*) La relación entre los miembros de diferentes categorías es generalmente de uno a muchos, *unívoca*. (*iii*) Los grupos separados del comienzo por un mismo número de pasos, aunque diverjan mucho unos de otros, pertenecen todos a la misma categoría o nivel de la jerarquía. (*iv*) Todas las categorías taxonómicas son *clases*.

FIGURA 2.2. Diagrama de Euler-Venn para el ejemplo del texto.

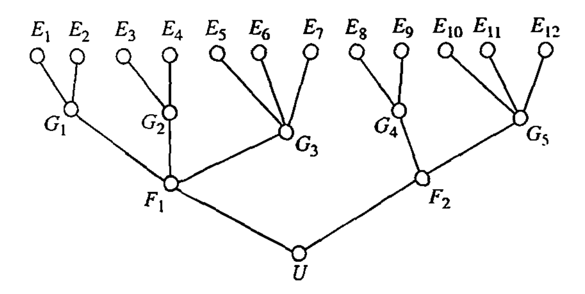


FIGURA 2.3. Diagrama de Hasse para el ejemplo del texto. Léase de abajo a arriba.

(La vieja controversia filosófica sobre la realidad o irrealidad de las clases debe renovarse a la luz del concepto de jerarquía. Es posible adoptar una posición conceptualista por lo que hace a clases del nivel de la especie y, al mismo tiempo, una posición seminominalista por lo que hace a las clases de todas las categorías superiores: una posición seminominalista más que plenamente nominalista, porque una clasificación natural reflejará conexiones reales, biológicas por ejemplo, entre tales categorías superiores, como veremos en la sección siguiente.)*

Así, pues, una clasificación sistemática consiste en la organización de un haz de conceptos, por ejemplo, taxa biológicos, en una jerarquía. Una jerarquía es mucho más que un catálogo, porque se basa en la subordinación o subsunción de conceptos: una jerarquía establece un *sistema*, no de proposiciones (no una teoría), sino de *conceptos*. En cada nivel de una jerarquía, los símbolos representan proposiciones; así, por ejemplo, 'F_1, $F_2 \subset U$' representa la conjunción "F_1 está incluida en U y F_2 está incluida en U". Pero los símbolos del nivel siguiente de la jerarquía –por ejemplo, 'G_1, G_2, $G_3 \subset F_1$'– representan proposiciones que no son lógicamente derivables (deducibles) de las anteriores: pues nuestro conocimiento no nos garantiza que sólo pueda haber tres géneros en esa familia, en vez de cuatro o cinco.

Así pues, un sistema taxonómico no es una teoría (un sistema de proposiciones), sino un *sistema de conceptos* y un conjunto de hipótesis asociado al mismo. Estas últimas se utilizan para establecer la clasificación, pero no se presentan en esta misma. Ejemplo de tales hipótesis es: "Cuanto más numerosos son los caracteres morfológicos comunes a dos especies, tanto más próximas son éstas". Puede ocurrir que una teoría dé apoyo a un determinado sistema taxonómico, o sea, que una clasificación sistemática se construya con la ayuda y la justificación de una teoría biológica, como ocurre en el caso de la sistemática evolucionista o filogenética. Esto tiene que ver con el estatuto epistemológico y metodológico de un sistema taxonómico, y no con su estatuto lógico. Seguiremos considerando este tema en la sección siguiente.

Las jerarquías suponen agrupaciones, igual que la división. Pero, a diferencia de ésta, superponen una ordenación parcial a las unidades (conjuntos) que resultan de las divisiones, de tal modo que dichas unidades se coordinan de un modo preciso. Por eso es natural que los biólogos, a diferencia de los meros coleccionistas, prefieran hablar de *sistemática* que de *taxonomía,* que es mucho menos categórico y comprometedor.

Diferentes sistemas taxonómicos producen sistematizaciones más o menos densas: si las especies (químicas, biológicas, sociales, etc.) se relacionan unas con otras, no sólo por medio de relaciones lógicas (de teoría de conjuntos), sino, además, por relaciones concretas como "más pesado que", "descendiente de" o "dependiente de", se obtienen sistemas más densos y más profundos, como se verá más adelante.

Problemas

2.4.1. Exponer la clasificación de los primates dada por G. G. Simpson, "The Principles of Classification and Classification of Mammals", *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 85, 1, 1945. *Problema en lugar del anterior*: Proponer una clasificación de los números o de algún otro conjunto.

2.4.2. Algunos eminentes biólogos, tales como E. Mayr, y conocidos filósofos, tales como D. Hull, opinan que las bioespecies no son colecciones de individuos sino individuos: sólo los géneros y demás taxones serían colecciones. ¿Es lógicamente sostenible esta opinión? Véase M. Mahner y M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy* (Nueva York, Springer, 1997) [*Fundamentos de la biofilosofía*, México, Siglo XXI, 2000].

2.4.3. ¿Cuál es el motivo del difundido uso de las dicotomías en el conocimiento ordinario y en el científico? ¿Arraiga en la naturaleza de las cosas (por ejemplo, en que la realidad consista en conjuntos de cosas y propiedades contradictorias dos a dos), o se debe a la posibilidad de construir el dual de cualquier concepto por medio de la negación lógica (formación del complemento $\bar{A}$ de un conjunto A)? *Problema en lugar del anterior*: Toda la lógica elemental puede escribirse sin usar más que la negación y la disyunción. ¿Tiene eso algo que ver con la dicotomía?

2.4.4. Dado que el establecimiento de una clasificación requiere conceptos previamente disponibles (que pueden afinarse en el curso de elaboración de la clasificación), ¿es correcto considerar la clasificación como un procedimiento de *formación* de conceptos, o no es más bien la clasificación una ocasión de introducir y dilucidar (afinar) conceptos? *Problema en lugar del anterior*: La formación de conceptos, ¿es un problema para lógicos o para psicólogos?

2.4.5. ¿Es posible ordenar cualquier conjunto? *Problema en lugar del anterior*: ¿Puede admitir el nominalista que un perro sea *in re* un mamífero? Si no, ¿cómo debe interpretar la frase 'Los perros son mamíferos'?

2.4.6. Examinar los conceptos de cronología absoluta y relativa, tal como se utilizan, por ejemplo, en arqueología y prehistoria. *Problema en lugar de ése*: Supongamos conocidas *N* propiedades biológicas, y que deseamos clasificar organismos de acuerdo con sus propiedades. Supongamos además que esas *N* propiedades son (*i*) cualitativas (de presencia o ausencia), (*ii*) del mismo nivel (misma importancia), y (*iii*) recíprocamente independientes. ¿Cuántas especies diferentes son lógicamente posibles? Indicación: el número de organismos no tiene ninguna importancia.

2.4.7. Comentar la opinión según la cual el sistema periódico de los elementos no es más que "una colección de hechos hábilmente reunidos". *Problema en lugar del anterior*: Efectuar particiones de un conjunto dado de objetos por diversas relaciones de equivalencia, tales como la de contemporaneidad o la de poseer antecesores en común.

2.4.8. ¿Requiere la clasificación un conocimiento de las cualidades esenciales de los miembros del universo del discurso? *Problema en lugar del anterior*: ¿Son las especies descubiertas o inventadas? Cf. E. Mayr, "Concepts of Classification and Nomenclature in Higher Organisms and Microorganisms", *Annals of the New York Academy of Sciences*, *56*, 391, 1952.

2.4.9. Puesto que no hay dos individuos de la misma especie biológica que sean idénticos desde todos los puntos de vista, ¿cómo deben determinarse los caracteres diagnósticos (notas inequívocas) de la especie: (*i*) imaginando *a priori* un tipo ideal (arquetipo), del cual los ejemplares existentes son copias más o menos imperfectas, como afirmaron los platonistas y los cultivadores alemanes de la *Naturphilosophie*, o (*ii*) por elección al azar, o (*iii*) averiguando las características (o valores más frecuentes) de la mayor población considerada, o (*iv*) buscando las diferencias específicas más constantes?

2.4.10. ¿Por qué es la clasificación de tanta mayor importancia en biología que en física? ¿Por qué los biólogos han subrayado indebidamente el planteamiento sistemático, con perjuicio de la búsqueda de leyes y de la construcción de teorías? Advertencia: la clasificación es de escasa importancia en ciencias aún menos progresadas que las biológicas, por ejemplo, en historia.

2.5. DE LA SISTEMÁTICA PRETEÓRICA A LA TEÓRICA

La clasificación y la ordenación pueden ser superficiales o profundas, antropocéntricas u objetivas, científicamente estériles o fecundas. Una clasificación u ordenación puede tener real valor práctico y ser superficial y antropocéntrica, como ocurre en la división de las hierbas en medicinales y no-medicinales; o bien puede ser superficial y etnocéntrica, como la división de los hombres en blancos y de color. La atención a un único carácter no dará lugar a una agrupación profunda y objetiva, a menos que el carácter escogido resulte ser esencial, o sea, una propiedad o relación que funde como tronco todo un grupo de caracteres derivados, como en parte ocurre con el número atómico en la sistemática de las especies químicas, o con el carácter de vivíparo en el caso de las especies zoológicas.

Dicho de otro modo: un haz de propiedades *interrelacionadas* dará una disposición más natural u objetiva que una o dos notas inequívocas, y las propiedades esenciales o troncales darán lugar a una comprensión más profunda que las notas fenoménicas (observables). Pues, en última instancia, el desiderátum de toda clasificación de conjuntos

de objetos concretos es, en la ciencia pura, una sistemática objetiva o *natural*, esto es, el descubrimiento y el despliegue de géneros naturales y de sus relaciones objetivas. Sólo en la tecnología –en la agronomía, por ejemplo– tienen valor las clasificaciones artificiales. Ahora bien, las propiedades están representadas por conceptos, y las interrelaciones de un conjunto de propiedades se representan por relaciones lógicas entre los conceptos correspondientes; estas relaciones entre conceptos se formulan en proposiciones que, a su vez, se organizan en cuerpos de teorías. Por tanto, toda sistemática natural tiene el apoyo de alguna teoría, que puede corregirla y enriquecerla.

La *sistemática biológica* basada en caracteres exosomáticos (externos, directamente observables) fue la primera clasificación *objetiva* de los organismos: era objetiva o natural en el sentido de que no dependía de nuestros deseos, necesidades, hábitos o caprichos, sino que se basaba en parecidos reales en determinados respectos. Pero esta sistematización primitiva –llamada *sistemática alfa*– no es de entera confianza, y arroja poca luz sobre las interrelaciones biológicas de las especies. Así, por ejemplo, la misma forma de torpedo se encuentra en los peces y en los cetáceos; tienen alas los pájaros, los insectos y los murciélagos; etc. Los criterios de parecido externo son frecuentemente objetivos, pero no suelen ser lo suficientemente *profundos*; a menudo, aunque no siempre, indican la pertenencia a un mismo género natural. Por eso se ha llamado *artificial* a la vieja sistemática, diferenciándola de la nueva, que es filogenética. Pero ese nombre es injusto: una clasificación u ordenación propiamente artificial o nominalista es la utilizada al elegir notas artificialmente, como en la ordenación alfabética de un conjunto de personas, o en la de los compuestos químicos por el color. La sistemática alfa puede ser tan natural como la filogenética, puesto que las dos se basan en rasgos objetivos; la diferencia consiste en que la primera es mucho menos profunda que la segunda, y es menos profunda porque es *preteórica*.

Entre las hipótesis que subyacen a la sistemática alfa se encuentra la suposición de que cuanto más numerosos son los caracteres morfológicos externos comunes a dos especies, tanto más próximas o parecidas son éstas. Pero esta hipótesis no es verdadera más que en una primera aproximación. En realidad, grupos diferentes tienen a menudo prácticamente los mismos caracteres morfológicos, y, a la inversa, pueden encontrarse variaciones morfológicas en una misma especie; por tanto, la morfología por sí sola no es un criterio sólido de relación biológica. Por esta razón, la sistemática es hoy día tarea conjunta de especialistas en morfología, ecología, genética, fisiología, bioquímica, etc., y no ya una tarea de recolectores. En resolución: la clasificación propiamente dicha requiere ideas en la misma medida en que exige observación.

Lo raro no es que una hipótesis supuesta por la vieja sistemática haya resultado deficiente, sino el que valga en tan alto porcentaje de casos. La teoría de la evolución explica este hecho del modo siguiente: la semejanza de forma es una consecuencia de antepasados comunes o de procesos convergentes de adaptación a un medio común. La nueva biología no sólo mejora la antigua, sino que explica además los éxitos y los fracasos de ésta: lo puede hacer porque contiene teorías amplias, especialmente la teoría de la evolución por selección natural. (La explicación científica, como veremos en el capítulo 9, se realiza en el seno de teorías.) De acuerdo con la teoría de la evolución los caracteres morfológicos externos no son caracteres diagnósticos, *indicadores*, de mucha confianza: su-

gieren propiedades más profundas, pero no las garantizan; son manifestaciones, síntomas por tanto, desde un punto de vista metodológico, de afinidades en general imperceptibles, pero deducibles, de tipo filogenético, fisiológico, bioquímico, ecológico, etc. (Sobre indicadores cf. sec. 12.3.) El grado de parentesco es, en la teoría de la evolución, el determinante principal de la proximidad sistemática de los grupos biológicos: la semejanza es una consecuencia –y por tanto un indicador– del parentesco.

Desde un punto de vista metodológico, la situación puede exponerse así: la primera operación del sistemático clásico y del sistemático evolucionista es la *identificación* de los individuos, esto es, el establecimiento de relaciones de la forma "$x \in E$". Pero mientras que el antiguo sistemático se fijaba en notas externas, el sistemático filogenetista toma en cuenta, además, otros caracteres, entre los cuales establece un orden jerárquico. (La identificación de individuos equivale a *agruparlos* en especies o subespecies sobre la base de la relación simétrica de semejanza en algunos respectos. Pero la semejanza, en el sentido en que la determina el sistemático contemporáneo, es más profunda que el mero parecido externo a que atendía el sistemático clásico.) La segunda operación es la *ordenación* de los varios grupos así formados en un árbol genealógico, es decir, la ordenación por medio de la relación no-lógica que Darwin llamó proximidad por descendencia. Se trata de una relación asimétrica, no-reflexiva y transitiva. No es una mera relación lógica, como la de inclusión, suficiente para construir jerarquías linneanas (cf. sección. 2.4), sino una relación biológica de prioridad temporal y de parentesco. Esta relación establece una *ordenación parcial estricta* de los grupos biológicos a lo largo del eje temporal. Cf. figura 2.4.

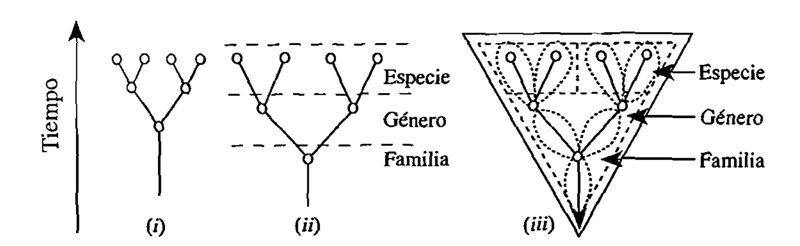


FIGURA 2.4. Relaciones entre filogénesis y taxonomía. En (*i*) se representa un árbol filogenético (dendrograma) hipotético. En (*ii*) se ha llevado a cabo una división incorrecta. En (*iii*) se tiene una clasificación correcta. (Según G. G. Simpson.)

Este nuevo modo de ordenación de grupos biológicos, basado en la relación de descendencia, tiene varios efectos. En primer lugar, los árboles genealógicos que representan secciones de la historia hipotética de organismos se introducen a lo largo de jerarquías taxonómicas; o sea, lo que se toma como núcleo de la sistemática es un proceso natural, no meramente una subordinación lógica, que puede ser arbitraria. En segundo lugar, cada ramificación en el árbol de descendencia corresponde a una diversificación que ha alcanzado el punto de especiación (formación de nuevas especies); la teoría biológica explica la producción de diversidad con la ayuda de la noción de mutación genética

y la subsiguiente selección de combinaciones genéticas por interacción con el medio (adaptación). En tercer lugar, se obtiene una conexión más íntima, o sistematización de los datos y las hipótesis, puesto que además de la relación simétrica de semejanza (que vale entre los miembros de un grupo y entre grupos relacionados) y de la relación asimétrica, reflexiva y transitiva de inclusión, $\subset$, que media entre varios taxa, ahora se tiene la relación asimétrica, irreflexiva y transitiva de descendencia, que media entre especies. La nueva sistematización es, por tanto, mucho más densa o sistemática que la antigua. Pero no hay razón para pensar que vaya a ser la última: la bioquímica promete ya una sistemática aún más densa, complementando las relaciones mencionadas con otras de afinidad entre las proteínas que caracterizan a las varias especies. ('Complementando' y no sustituyendo, porque los organismos atraviesan diversos niveles de organización.)

La *sistemática química* ha recorrido una evolución parecida, desde un estadio preteórico hasta otro teórico. Los varios elementos químicos pueden disponerse de diversos modos: según el color, el sabor, el peso específico, el punto de ebullición, el peso atómico (determinado por el número de constituyentes del núcleo atómico), el número atómico (igual al número de electrones), etc. Las propiedades sensibles no se tienen en cuenta para fines sistemáticos porque dan lugar a agrupaciones antropocéntricas y superficiales, aunque a veces útiles. Y, ya entre las propiedades no sensibles, los caracteres macroscópicos, como el peso específico o el punto de ebullición, son menos adecuados que los caracteres microscópicos, porque son consecuencias de éstos. Propiedades troncales, como el número atómico y el número de electrones presente en la última capa del átomo, son las que se eligen en la más profunda de todas las sistemáticas químicas, que es el sistema periódico.

Es importante darse cuenta de que el sistema periódico presupone la *teoría atómica*, exactamente igual que la sistemática filogenética presupone la teoría de la evolución. Basta un vistazo a cualquier tabla periódica establecida modernamente para confirmar esa tesis: cada casilla se caracteriza básicamente por un conjunto de números que representan los valores numéricos de propiedades introducidas por la teoría atómica, e impensables o sin-sentido si se prescinde de dicha teoría. Así, por ejemplo, la casilla ocupada por el carbono presenta los siguientes números: 6, número atómico, o número de electrones del átomo de carbono; 12,011, peso atómico de una muestra al azar de carbono; 2, número de isótopos conocidos; y 2-4, número de electrones de las capas primera y segunda respectivamente. Todas son propiedades profundas y no-fenoménicas.

Igual que en el caso de la sistemática biológica, el progreso de la sistemática química la alejó de las clasificaciones fenomenistas y nominalistas (artificiales). E igual que en el caso de la biología el esquema de árbol genealógico sugiere la búsqueda de eslabones ausentes, así también en el caso del sistema químico fue posible la predicción de las propiedades de elementos e isótopos antes desconocidos. Además, puede hacerse una predicción de las trasmutaciones posibles de los elementos sin más que atender a los números que caracterizan a sus vecinos. El sistema periódico es pues algo muy distinto de un mero sumario de hechos producidos en el laboratorio químico: es una parte de la teoría atómica, y resume nuestro conocimiento teorético de la composición y estructura de los núcleos y átomos.

Cada una por sí misma, la división, la ordenación y la medición pueden ser muy analíticas, según la finura de las operaciones. Pero el gran poder analítico o resolutorio no es

el único desiderátum de una disposición de elementos: tanto o más deseable es la sistematización, es decir, la síntesis. Y la sistematización se consigue por la *combinación de división, ordenación y, de ser posible, medición, a la luz de la teoría.* La división, la ordenación y la medición no son sino partes del proceso de análisis y síntesis, el cual empieza con la discriminación o distinción, continúa con la descripción y culmina en la teoría.

La teoría, que es un fin en sí misma, es también *el* medio para conseguir profundizar hacia una sistemática cada vez más de raíz. Esto se debe a que sólo la teoría puede introducir de un modo no arbitrario propiedades no observables (diafenoménicas), mediante conceptos que no se refieren a notas superficialmente observables, sino que denotan propiedades esenciales o troncales, generalmente ocultas a los sentidos y sólo-hipotetizables. Y como la sistemática profunda es la que supone alguna teorización, la más profunda de todas será la basada en la teoría más profunda, o sea, en la teoría cuyos conceptos-clave sean los más lejanos de los fenómenos directamente observables. (A propósito del concepto de profundidad de una teoría, cf. sec. 8.5.) Y toda sistemática de esta naturaleza, lejos de ser externa a la teoría, resume e ilustra a la misma, y ayuda a explicarla, mientras la teoría, recíprocamente, explica la sistemática misma.

Si la teoría resulta defectuosa –descubrimiento que se producirá necesariamente antes o después– la sistemática que la acompañaba tendrá que corregirse o abandonarse. La sistemática, en resolución, es un aspecto de la sistematización científica: será protocientífica si no se apoya en ninguna teoría, y propiamente científica si le subyace alguna teoría contrastable. La sistemática no es, pues, una ciencia especial, y aún menos una superciencia: en la medida en que es teorética y no preteorética, la sistemática contiene resultados de la investigación empírica y resultados de la investigación teorética. Por eso ayuda a orientar a ambas.

Problemas

2.5.1. Discutir, desde los puntos de vista de la objetividad y la profundidad, la clasificación primitiva de las vitaminas. Recuérdese que las vitaminas se clasificaron inicialmente por su presencia en los alimentos, no por su estructura química. Así, por ejemplo, el complejo vitamínico B consta de vitaminas (thiamina, riboflavina, ácido nicotínico, etc.) que no tienen nada en común salvo su presencia conjunta en ciertos alimentos.

2.5.2. Decidir cuál de las siguientes divisiones de la biología –la una basada en el tipo de organismo y la otra en problemas y métodos– da la visión más profunda de la moderna investigación biológica.

División según los objetos	*División según los problemas*
1. Botánica Subdivisiones: briología, micología, dendrología, silvicultura, etc.	1. Morfología (forma y estructura) Anatomía Histología Citología

(*continúa*)

(*continuación*)

División según los objetos	*División según los problemas*
2. Zoología Subdivisiones: entomología, ictiología, herpetología, ornitología, etc.	2. Fisiología (función) Fisiología estricta Embriología Genética 3. Ecología (hábitat) 4. Etología (conducta) 5. Filogénesis (evolución)

Problema en lugar del anterior: ¿Cómo decidimos los respectos en los cuales deben compararse los organismos?

2.5.3. ¿Qué puede inferirse del dato de que dos especies son semejantes (*i*) en el caso de la sistemática morfológica ("artificial") y (*ii*) en el caso de la sistemática filogenética ("natural")?

2.5.4. Considerar el árbol genealógico de la figura 2.5: '*A*', '*B*', '*C*' y '*D*' representan especies contemporáneas; '*E*', '*F*' y '*G*' representan las especies de que proceden las anteriores. ¿Está *B* más estrechamente relacionada con *A* que con *C* o *D*, o a la inversa? Obsérvese (*i*) que *B* está menos alejado de *A* que de *C* y *D*; (*ii*) que el origen de *B* tuvo lugar poco después del de *A*; (*iii*) que *A* y *B* no proceden de un tronco inmediato común. (Tomado de W. Hennig, con adaptación.)

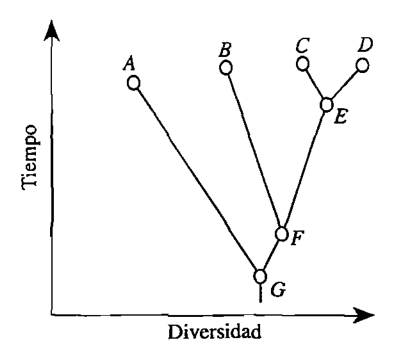


FIGURA 2.5. Árbol genealógico del problema 2.5.4.

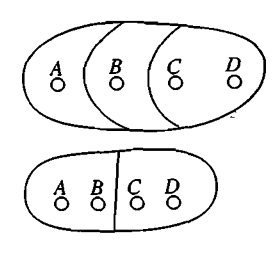


FIGURA 2.6. Diagramas de Euler-Venn correspondientes a la fig. 2.5.

2.5.5. Antes de averiguar qué desciende de qué es preciso saber acerca de los grupos en cuestión. Esta observación da lugar a la cladística, cuyos resultados difieren en algo de los de la sistemática evolutiva. Establecer si el cladograma y el árbol genealógico son incompatibles entre sí o se complementan. Cf. M. Mahner y M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy*, sec. 7.2.2.4, Nueva York, Springer, 1997 [*Fundamentos de la biofilosofía*, México, Siglo XXI, 2000].

2.5.6. ¿Es la sistemática biológica (*i*) un fin en sí misma, y hasta el objetivo central de la investigación biológica, o (*ii*) simplemente un modo de almacenar y exponer (dividiendo u ordenándolo) el material empírico en bruto que debe ser elaborado por los fisiólogos, genetistas, bioquímicos, etc., o (*iii*) una parte de la biología, con tanto derecho como la tabla periódica es una parte de la física y la química, y útil a la vez como registro de hechos conocidos y como instru-

mento de investigación? Consiguientemente: ¿es la sistemática una disciplina especial o es una parte de una disciplina científica? *Problema en lugar del anterior*: Analizar los enunciados siguientes: "Puede verse una especie", "La especie que uno ve depende de las posibilidades de observación que tiene", "Una especie es una cosa simple", "Una especie es una unidad formal". (Frases encontradas en una reciente publicación científica.)

2.5.7. Discutir la propuesta (hecha por J. Huxley en 1958) de que cada taxón se construya como un grupo caracterizado a la vez por un antepasado común (un *tronco*) y como una unidad dotada de cierto número de caracteres comunes como resultado de la evolución (un *grado*). *Problema en lugar de anterior*: Discutir detalladamente los planteamientos del científico puro (por ejemplo, el biólogo) y el científico aplicado (por ejemplo, el agrónomo) por lo que hace a la taxonomía.

2.5.8. Examinar alguna clasificación corriente de las llamadas partículas elementales. ¿Supone conceptos de observación o conceptos teoréticos? ¿Es una tabla de datos o un sistema? *Problema en lugar del anterior*: Estudiar la clasificación de las enfermedades por sus causas y por sus síntomas (la fiebre, por ejemplo), o discutir clasificaciones de la personalidad basadas en caracteres anatomofisiológicos (como los cuatro humores hipocráticos).

2.5.9. ¿Son perfectibles las divisiones, ordenaciones y clasificaciones sistemáticas? Discutir por separado los casos de objetos ideales y objetos materiales, y excluir el caso obvio de la dicotomía. *Problema en lugar de ése*: Discurrir libremente acerca de la influencia que puede tener el descubrimiento de compuestos de gases "nobles" (1962) en la tabla periódica, y recabar de ello una consecuencia por lo que hace a la evolución de la sistemática.

2.5.10. Examinar las tesis siguientes, esbozadas en el texto: (*i*) que el *fenomenismo* ("Todos los predicados empíricos son fenoménicos o reducibles a predicados fenoménicos") y el *nominalismo* ("Todo conjunto es resultado de una agrupación arbitraria y es, por tanto, un mero nombre") tienen que presentarse juntos, y (*ii*) que el progreso de la ciencia ha ido alejándola del fenomenismo y del nominalismo, y llevándola a descubrir propiedades transobservables cada vez más profundas (denotadas por conceptos teoréticos) y géneros naturales objetivos. *Problema en lugar del anterior*: Realizar un análisis crítico detallado de las actuales discusiones sobre el concepto de especie.

2.6. SISTEMÁTICA DE CONCEPTOS

En 2.2 clasificamos conceptos de acuerdo con su forma lógica, a saber, en conceptos individuales, de clase, relacionales y cuantitativos. También los clasificamos, desde el punto de vista de su estatuto semántico, en conceptos formales o puros y conceptos no-formales (incluidos los concretos). Si se eligen otros criterios de clasificación se obtienen, naturalmente, otras clasificaciones. En esta sección atenderemos primero a la función de los conceptos y luego a su alcance sistemático.

Si se elige como *fundamentum divisionis* la *función* de los conceptos en la ciencia se obtiene la siguiente perfectible clasificación (véase la tabla 2.8).

Los conceptos formales suministran los elementos que constituyen el esqueleto formal (por ejemplo, un cálculo) de sistemas factuales como las clasificaciones y las teorías. Su estudio corresponde a la ciencia formal, pero pueden introducirse en cualquier campo de la ciencia factual: no están vinculados a ningún tema concreto, sino que se refieren a nuestro modo de planteamiento y manera de aprovecharlo. Así, la aplicabilidad

TABLA 2.8. FUNCIONES DE LOS CONCEPTOS

Conceptos	*Formales*	*Básicos*: los que suministran las fundamentaciones racionales, como "y", "todos", "conjunto", "raíz cuadrada", "distancia", "grupo".
		Metalógicos: los que se presentan en análisis y teorías de teorías formales, p. ej., "fórmula bien formada", "demostrable", "axioma", "teorema", "teoría".
	No-formales	*Descriptivos*: los que nos permiten describir material fáctico de experiencia, como "cuerpo", "rojo", "cerca", "acontecimiento", "entre", "líquido".
		Explicativos: los que se presentan en la explicación de descripciones, como "especie", "átomo", "tasa de nacimientos", "motivación", "inhibición".
		Prescriptivos: los que se presentan esencialmente en normas, reglas y convenciones, p. ej., los designados por verbos en imperativo.

de la teoría de conjuntos a la sistemática zoológica no depende de los animales, sino de que el zoólogo se dé cuenta de que la teoría de conjuntos es el cálculo formal de la sistemática y, consecuentemente, de que cuanto más explícitamente la use tanto más preciso y corto será un artículo suyo. El uso amplio de los conceptos formales no lleva sólo a una sistematización más fuerte y a una mayor precisión en cada campo de la ciencia, sino también a una ulterior integración conceptual de toda la ciencia.

Conceptos no formales son, naturalmente, los que nos permiten dar cuenta del mundo y planear nuestra investigación del mismo. Estos conceptos, por así decirlo, nos dan la carne del conocimiento, al permitirnos referirnos a hechos (conceptos descriptivos e interpretativos) o a nuestras decisiones y actos (conceptos prescriptivos). (Esa referencia es, en cierta medida, directa en el caso de conceptos descriptivos y prescriptivos, pero es bastante indirecta en el caso de los conceptos interpretativos, como "campo eléctrico".) En "Este mono está triste" no hay más que conceptos descriptivos, "Este mono está triste porque tiene nostalgia" contiene un concepto interpretativo. Y "Los monos tristes de nostalgia deben entretenerse con la televisión" contiene un concepto prescriptivo. Conceptos descriptivos se presentan, como es natural, en contextos descriptivos; los conceptos interpretativos dominan en contextos teoréticos, y los conceptos prescriptivos son frecuentes en el discurso metodológico. Pero conceptos de las tres clases pueden presentarse juntos en una misma proposición, como "Para registrar diferencias isotópicas de masa hay que utilizar un espectrómetro de masa."

Necesitaremos también la división de conceptos basada en su *alcance sistemático*, o sea, en el papel que desempeñan en la sistematización. Desde este punto de vista podemos dividir los conceptos en *extrasistemáticos* –como "soluble" y "conductor– y *sistemáticos* –como "solubilidad" y "conductividad". Entre los conceptos ordinarios o extrasistemáticos los más frecuentes son los *ostensivos*, que se refieren directamente a individuos observables, a propiedades y relaciones directamente observables, como 'cuerpo", "viscoso" o "bajo". La ciencia no puede prescindir de conceptos extrasistemáticos: si no existieran vínculos de transición entre los conceptos sistemáticos y los extrasistemáticos, las teorías científicas serían incontrastables e ininteligibles. Pero esos conceptos extrasistemáticos no son típicos de la ciencia: son presupuestos y dilucidados por la ciencia, pero ésta se construye con conceptos específicos, técnicos, que no pueden definirse a base de conceptos extrasistemáticos,.

Ahora bien: la sistematización científica puede consistir en una sistemática o una teoría. Consiguientemente, los conceptos sistemáticos pueden ser taxonómicos y/o teoréticos. Los *conceptos taxonómicos*, como los de especie, taxon mismo y jerarquía, pueden dilucidarse con la ayuda de conceptos descriptivos y de la lógica elemental. No ocurre así con los *conceptos teoréticos*, es decir, con los conceptos *introducidos* o *dilucidados* por una teoría, como "campo eléctrico" (introducido por la teoría electromagnética), "selección natural" (introducido por la teoría darwinista de la evolución), o "utilidad subjetiva" (introducido por la teoría de la utilidad). La especificación del significado de los términos teoréticos (signos que designan conceptos teoréticos) requiere, además de la lógica, la especial teoría de que se trate y la experiencia científica: la lógica mostrará la estructura del concepto, la teoría mostrará su connotación, y la experiencia científica (observación, medición y/o experimentación) suministrará su extensión. Además, a veces no será fácil decidir si un concepto dado es extrateorético o teorético: pues puede haberse convertido en elemento del conocimiento común al cabo de algún tiempo de uso teorético. Pero, independientemente de las vicisitudes históricas de un concepto, adoptaremos la siguiente *Definición*: Un concepto se llamará *teorético* en un momento dado si y sólo si en ese momento pertenece a alguna teoría.

Como los conceptos teoréticos son el núcleo de la ciencia y plantean los problemas epistemológicos más interesantes, será conveniente analizarlos por el procedimiento de apelar de nuevo a la clasificación, técnica simple de análisis conceptual. Usaremos la clasificación expuesta en la tabla 2.9.

Los conceptos teoréticos *genéricos* son aquellos que permean la totalidad de la ciencia: no son peculiares a ninguna ciencia factual determinada. Los conceptos *ontológicos*, como "acontecimiento" o "real", están supuestos por o subyacen a toda teoría factual, aunque ésta no los contenga de una forma explícita. Estos conceptos se consideran a veces ordinarios (presistemáticos) o bien excesivamente metafísicos, lo cual es de lamentar, porque su desprecio autoriza la mayor vaguedad ontológica. El desprecio de la ontología es una protección para cualquier metafísica casera: y la realidad es que no nos encontramos en la posibilidad de contraer compromisos metafísicos o evitarlos, sino sólo en la de contraerlos malos o buenos (cf. 5.9). Los conceptos *metacientíficos*, designados por términos como 'evidencia' y 'problema', se presentan en las observaciones que acompañan a un enunciado científico, en la discusión de su convalidación y de su dominio de vali-

TABLA 2.9. SISTEMÁTICA DE LOS CONCEPTOS TEORÉTICOS FACTUALES

Conceptos teoréticos factuales	*Genéricos*	*Ontológicos*: tema propio de la ontología. Ejs.: "materia", "sistema", "acontecimiento", "proceso", "evolución", "espíritu", "ley", "azar".
		Metacientíficos: tema propio de la metaciencia. Ejs.: "hipótesis", "enunciado legaliforme", "contrastación", "confirmación", "sistemática" .
	Específicos	*Observacionales*: que refieren a entidades o propiedades observables. Ejs.: "cuerpo", "posición", "yuxtaposición", "estímulo", "respuesta", "número de confirmaciones".
		No-observacionales: que no denotan entidades o propiedades de experiencia. Ejs.: "centro de gravedad", "aprendizaje", "valencia", "poder político".

dez, y en muchas otras ocasiones. Como en el caso de los conceptos ontológicos, el mejor modo de trabajar en una nebulosa de confusas ideas metacientíficas –que son imprescindibles para todo científico– consiste en no analizarlas ni sistematizarlas.

Los conceptos teoréticos *específicos*, a diferencia de los genéricos, son propios de teorías especiales o grupos de ellas. Conceptos *observacionales* son los que denotan objetos directamente observables, como "cuerpo" y "estímulo". Las teorías referentes a sistemas que son en parte accesibles a la observación directa –como la mecánica clásica, por ejemplo– pueden contener conceptos observacionales, pero no es necesario que los tengan; estos conceptos se toman frecuentemente del conocimiento ordinario, y la teoría los dilucida. Pero las teorías que manejan objetos inobservables como la teoría del campo electromagnético en el vacío, o una teoría de la formación de conceptos– pueden no contener ningún concepto observacional. Estos conceptos se presentarán siempre, sin embargo, en los enunciados que tengan como objetivo someter una teoría a contrastación, aunque esa teoría no contenga conceptos observacionales.

Los conceptos *no-observacionales* son característicos de los supuestos iniciales (axiomas) de una teoría; algunos de esos conceptos teoréticos llegan hasta el nivel de los teoremas. Así, en la mecánica newtoniana, "punto material", "masa" y "fuerza" –los tres conceptos indefinidos típicos de la teoría– son no-observacionales, se presentan exabrupto en los axiomas (o sea, son nociones primitivas, o indefinidas) y no refieren a ningún rasgo observable de experiencia. La relación es de otro tipo: hay una gran parte de la experiencia que puede describirse y –cosa más interesante– interpretarse con la ayuda de tales conceptos no-observacionales. Los conceptos básicos de la mecánica son pues a la vez descriptivos e interpretativos; pero no describen cuidadosamente hechos actuales, sino reconstrucciones más o menos idealizadas de hechos actuales y posibles. Algunos de los conceptos no-observacionales de la mecánica newtoniana están ausentes de los niveles

inferiores de la teoría, en los que sólo la construcción teorética "punto material" aparece frecuentemente (pues es el objeto al que se refieren los enunciados de esa mecánica), junto con los conceptos de distancia y de duración.

Los conceptos no-observacionales se han dividido en variables intermedias y construcciones hipotéticas. Las *variables intermedias* son conceptos que median entre conceptos observacionales. Tales son "centro de gravedad" en mecánica, "entropía" en termodinámica, y "aprendizaje", "impulso" o "fuerza del hábito" en la psicología conductista. No se asigna a las variables intermedias ninguna propiedad, ni empíricamente accesible ni de otro tipo, y, por tanto, se puede prescindir de ellas: son simples auxiliares calculísticos que enlazan las propiedades observables de un sistema (cf. fig. 2.7). Las *construcciones hipotéticas*, por su parte, se refieren a entidades o propiedades no-observables, pero inferibles. Por ejemplo, "átomo" en la teoría atómica y "coste de producción" en economía son conceptos inobservables, pero no fantasmales, pues se presentan en enunciados que pueden someterse a contrastación con la ayuda de otros enunciados más próximos a la experiencia; además se admite que sus referencias son reales.

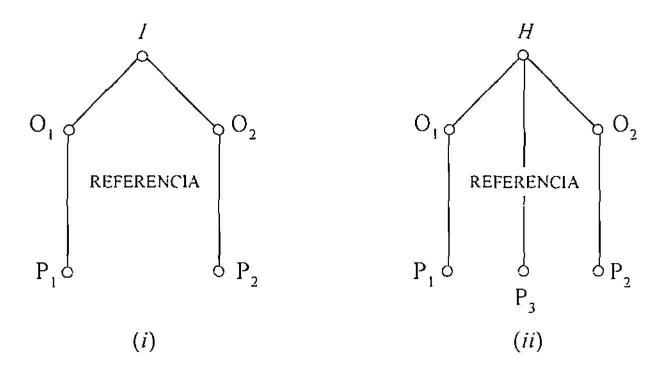


FIGURA 2.7. Variables intermedias y construcciones hipotéticas. (*i*) La variable intermedia I media entre los conceptos observacionales O_1 y O_2 que denotan las propiedades P_1 y P_2 respectivamente, pero I misma no se refiere a ninguna propiedad. (*ii*) La construcción hipotética H media entre los conceptos observacionales O_1 y O_2, y además menta un correlato objetivo, que es la propiedad P_3.

La diferencia entre construcciones hipotéticas y variables intermedias no es lógica ni epistemológica: ambas pueden tener una estructura tan compleja como se quiera y ambas pueden ser inventadas, no precisamente tomadas de la observación. La diferencia entre unas y otras es *semántica*, o sea, consiste en el correlato que se les asigna. Mientras que a las variables intermedias no se les asigna correlato alguno distinto del sistema concreto en su totalidad (por ejemplo, "centro de gravedad" se refiere a un cuerpo), a las construcciones hipotéticas se les atribuyen correlatos reales, aunque inobservables (cosas, propiedades o relaciones). Así, por ejemplo, en la corriente teoría electromagnética los potenciales son variables intermedias, mientras que las intensidades de campo son construcciones hipotéticas; o sea: a los potenciales no se les atribuye ninguna significación física inde-

pendiente, y en principio se puede trabajar sin ellos, mientras que el concepto de intensidad de campo es el núcleo de la teoría.

La diferencia entre variables intermedias y construcciones hipotéticas no es absoluta, sino *relativa* a la teoría en que se presenten, así como a la posición filosófica adoptada. Un mismo concepto puede manejarse como construcción hipotética en determinado planteamiento, y como variable intermedia en otro planteamiento. Así, por ejemplo, "hábito", "impulso" y "estado mental" son a lo sumo variables intermedias para la psicología conductista (por ejemplo, la de C. Hull), mientras que en otros planteamientos (el de Tolman, por ejemplo) pueden ser construcciones hipotéticas referentes a propiedades reales o sistemas de propiedades del sistema nervioso. En general, la actitud externalista o fenomenista no atribuirá realidad más que a los correlatos de conceptos observacionales, y considerará a todos los conceptos no-observacionales como expedientes auxiliares –y sospechosos– que median o intervienen entre conceptos observacionales. Por otro lado, el planteamiento interno o representacional, que es el que aspira a descubrir el mecanismo de los sistemas, más que a describir sus propiedades externas, reconocerá ambos géneros de conceptos, y en vez de aceptar las variables intermedias como meros símbolos útiles, intentará explicar algunas de ellas a base de construcciones hipotéticas. Un ejemplo de este análisis más profundo es la fundamentación neurofisiológica de la psicología de la conducta y de la psique.

Remitimos a los capítulos 3, 5 y 8 una discusión más detallada de los conceptos no-observacionales y, en particular, del tema de las variables intermedias y las construcciones hipotéticas, con las discusiones a su respecto. Ahora vamos a atender al problema del afinamiento de conceptos.

Problemas

2.6.1. Distinguir en el texto siguiente los conceptos formales, descriptivos, interpretativos y prescriptivos. "Cuando digo que yo (el *ego*) estaba en la Grand Central Station ayer a mediodía, es verdad que cierto cuerpo de la naturaleza objetiva al que llamo *mi* cuerpo, o sea, el cuerpo del ego, estaba allí en aquel momento. Pero esto no es más que una implicación, o sea, no es una simple identificación del ego con el cuerpo, pues en otro caso la frase *mi cuerpo* carecería de sentido. Una vez acostumbrado a pensar el ego como algo así como un coordinado marco de referencia, el asunto está perfectamente claro. Lo que cuenta en la imagen del mundo en *mí* mismo es la posición de mi *marco de referencia* respecto del mundo externo. Decir que *yo* estaba ayer a mediodía en la estación es decir que dicho marco de referencia estaba situado de ese modo. El cuerpo afectado a ese marco de referencia es, en ese sentido, *mi* cuerpo. Y es claro que el ego así definido es algo inmaterial". A. J. Lotka, *Elements of Mathematical Biology*, Nueva York, Dover, 1956, p. 374.

2.6.2. Ilustrar el concepto de concepto sistemático en sus dos categorías, taxonómica y teórica.

2.6.3. Ejemplificar conceptos teóricos genéricos y específicos. *Problema en lugar del anterior*: ¿Son los conceptos observacionales meros envoltorios de datos sensibles?

2.6.4. Precisar los conceptos metacientíficos contenidos en el texto del problema 2.6.1.

2.6.5. Decidir cuáles de los siguientes conceptos son observacionales y cuáles son no-observacionales: "*input*" (insumo), "*output*" (producto), "trayectoria media libre", "corriente eléctrica", "velocidad reactiva", "catalizador", "hormona", "vitamina", "gene", "músculo", "aferente",

"metabolismo", "reflejo condicionado", "inhibición", "intensidad del estímulo óptico", "hábito", "impulso", "motivo".

2.6.6. Establecer una lista de conceptos observacionales, variables intermedias y construcciones hipotéticas que se den en una teoría científica a elegir.

2.6.7. Los llamados "observables" de la física atómica, como posición del electrón, momento y energía, ¿son conceptos observacionales en el sentido estricto de 'observación' utilizado en el texto? *Problema en lugar del anterior*: ¿Son esos conceptos variables intermedias o construcciones hipotéticas?

2.6.8. Mostrar cómo enunciados referentes a una variable intermedia pueden traducirse a enunciados referentes a una construcción hipotética. Estudiar, si se desea un caso concreto, el del par "diferencia de potencial"-"intensidad del campo eléctrico".

2.6.9. Proponer un criterio, distinto de la definición, para distinguir entre variables intermedias y construcciones hipotéticas. Ser cuidadoso en especificar que la distinción entre ambas es contextual y no absoluta.

2.6.10. Analizar el concepto presistemático y sistemático de movimiento. Mostrar que, mientras que el primero es genérico, en cambio, el segundo es específico; precisar los conceptos cualitativo y cuantitativo de movimiento en las teorías del mismo (las varias teorías mecánicas); y averiguar qué se gana y qué se pierde en los sucesivos afinamientos del concepto de movimiento. *Problema en lugar del anterior*: Establecer las relaciones entre conceptos observacionales y conceptos descriptivos, y entre conceptos teoréticos y conceptos interpretativos. Advertencias: "número de convalidaciones" es a la vez observacional e interpretativo, e "intención" es interpretativo, pero, hasta hoy día, no teorético.

BIBLIOGRAFÍA

Bunge, M., *Sense and Reference*, Dordrecht, Reidel, 1974.

——, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

——, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.

——, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven, CT, Yale University Press, 1996 [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

Carnap, R., *Introduction to Symbolic Logic and its Applications*, Nueva York, Dover, 1958.

Frege, G., *Translations from the Philosophical Writings of*, P. G. Geach y M. Black (eds.), Oxford, Blackwell, 1960.

Gregg, J. R., *The Language of Taxonomy*, Nueva York, Columbia University Press, 1954.

Halmos, P. R., *Naive Set Theory*, Princeton, Van Norstrand, 1960.

Hempel, C. G., *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*, vol. II, núm. 7 de la *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1952.

Hennig, W., *Grundzüge einer Theoris der phylogenetischen Systematik*, Berlín, Deutscher Zentralverlag, 1950.

Lewis, C. I., "The Modes of Meaning", *Philosophy and Phenomenological Research*, *4*, 236, 1943.

MacCorquodale, K., y P. E. Meehl, "Hypothetical Constructs and Intervening Variables", *Psychological Review*, 55, 95, 1948.

Martin, R. M., *Truth and Denotation*, Chicago, University of Chicago Press, 1958. Trad. cast., *Verdad y denotación*, Madrid, 1962.

Marx, M. H. (ed.), *Psychological Theory: Contemporary Readings*, Nueva York, Macmillan. 1951, cap. III.

Mayr, E., *Principles of Systematic Zoology*, Nueva York, McGraw-Hill, 1968.
——, *The Growth of Biological Thought*, Cambridge, MA, Harvard University Press.
Mahner, M., y M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy*, Nueva York, Springer Verlag, 1997 [*Fundamentos de la biofilosofía*, Siglo XXI, 2000].
Menger, K., "On Variables in Mathematics and in Natural Science", *British Journal for the Philosophy of Science*, 5, 134, 1954.
Morris, C., *Foundations of the Theory of Signs*, vol. I, núm. 2 de la *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1938.
Nagel, E., *Logic Without Metaphysics*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1956, caps. 4 y 5.
Quine, W. V. O., *Word and Object*, Nueva York y Londres, The Technology Press of the M. I. T. and John Wiley, 1960. Trad. cast., *Palabra y objeto*, Barcelona, 1968.
Sacristán, M., *Introducción a la lógica y al análisis formal*, Barcelona, Ariel, 1964.
Simpson, C. G., *Principles of Animal Taxonomy*, Nueva York, Columbia University Press, 1961.
——, *Why and How*, Oxford, Pergamon Press, 1980.
Stanley Jevons, W., *The Principles of Science*, 1874, Nueva York, Dover, 1958, cap. XXX.
Suppes, P., *Introduction to Logic*, Princeton, N. J., Van Nostrand, 1957, caps. 9 y 10.
Törnebohm, H., *A Logical Analysis of the Theory of Relativity*, Stockholm, Almwvist & Viksell, 1952, secciones 28, 29 y 31.
Woodger, J. H., *Biology and Language*, Cambridge University Press, 1952.

3. DILUCIDACIÓN

Hay tres dolencias que afectan, y quizás afecten siempre, a nuestro equipo conceptual: falta de conceptos ricos, abundancia de conceptos pobres y vaguedad de todos los conceptos, excepto los formales. Los filósofos no pueden hacer gran cosa para enriquecer el acervo de conceptos científicos y para eliminar los que no son adecuados: el desarrollo y la selección de la población de conceptos es parte de la evolución de la ciencia. Por otro lado, el análisis filosófico puede ser eficaz en su examen crítico de los conceptos científicos. Esta crítica puede ser destructora, como ocurre al condenar el uso de conceptos no-observacionales en nombre de filosofías precientíficas; o bien puede ser constructiva, como ocurre cuando se critica la vaguedad conceptual y se intenta disminuirla, es decir, hacer los conceptos más definidos. O sea: aunque los filósofos no suelen dar a luz conceptos científicos, pueden ayudar a criarlos. Esta ayuda es sobre todo valiosa porque en el campo científico persisten y dominan ciertas ideas anacrónicas por lo que hace al modo como debe darse significación a los términos científicos. Una de tales ideas insostenibles, pero aún populares entre los científicos, dice que todos los conceptos científicos deben definirse desde el primer momento (prejuicio aristotélico), y, además, por referencia a operaciones que, de ser posible, deben tener un carácter empírico (prejuicio operativista). Veremos que las significaciones se especifican y afinan de muchos modos diversos, y que las definiciones operativas son lógicamente imposibles, aunque hay ciertas correspondencias de signo a objeto (las llamaremos "refericiones") que desempeñan la función frecuentemente atribuida a las "definiciones" operativas.

3.1. VAGUEDAD Y CASOS LIMÍTROFES

'Campo', 'anillo' y 'libertad' son términos *ambiguos* porque cada uno de ellos designa varios conceptos. La ambigüedad es una tenaz característica de los signos; hasta los signos matemáticos pueden ser ambiguos en cuanto que se sacan de su contexto. La ambigüedad es ambivalente: por un lado, nos permite economizar signos y, con ello, mantener dentro de proporciones modestas nuestros diversos vocabularios técnicos; pero, por otro lado, crea confusión. Afortunadamente, puede siempre eliminarse, parcial o totalmente, con el añadido de más signos. Así, por ejemplo, 'campo eléctrico', 'pila atómica' y 'libertad política' son menos ambiguos que los nombres iniciales, y las cartas pueden ser menos ambiguas que los telegramas que las preceden. Por otro lado, la vaguedad o confusión no tiene ningún aspecto positivo, y es una enfermedad conceptual más que terminológica: por eso también es de cura más difícil. "Pequeño", "calvo" y "caliente" son conceptos vagos porque ya sus intensiones son confusas, y, consiguientemente, sus extensiones están indeterminadas mientras no se establezcan estipu-

laciones (criterios convencionales) para determinar su dominio de aplicabilidad.

Como todo concepto tiene una intensión y una extensión (cf. sec. 2.3), la vaguedad puede ser intensional o extensional. La *vaguedad intensional* consiste en una indeterminación parcial de la intensión. "Organismo" y "máquina" adolecen ambos de vaguedad intensional: las propiedades que connotan no están determinadas exhaustivamente, lo cual, dicho sea de paso, es una de las principales fuentes de confusión en las actuales discusiones acerca del alcance de la cibernética. Para comprimir el halo de vaguedad que rodea a esos dos conceptos necesitamos más progresos en la teoría de los organismos y en la teoría de las máquinas, así como análisis filosóficos más amplios y detallados: en todo caso, es difícil que un decreto lingüístico satisfaga a todas las partes contendientes. La *vaguedad extensional* consiste en una indeterminación parcial de la extensión de un concepto. Como veremos, este defecto puede subsanarse más fácilmente que la vaguedad intensional, lo que explica la habitual preferencia por planteamientos extensionales. Pero como la tarea de la ciencia no se termina nunca, podemos esperar con confianza que siempre habrá algo de vaguedad, intensional o extensional, grande o pequeña, confundiendo los conceptos más interesantes –el de vaguedad entre ellos. Efectivamente, es muy posible que no se conozca ningún género natural (especie, clase) en forma de clase total y tajantemente determinada, y no siempre está claro si tal vaguedad o indeterminación es un rasgo de la limitación humana o un rasgo objetivo.

El concepto de *vaguedad intensional* puede analizarse por medio del conjunto $I(C)$ de propiedades, conocidas y desconocidas, connotado por C, y el subconjunto $K(C) \subseteq I(C)$, de las propiedades conocidas, incluido en la intensión de C. Definiremos la vaguedad intensional $V_i(C)$ de un concepto C como la diferencia entre $I(C)$ y $K(C)$, o sea, como el conjunto de las propiedades que pertenecen a I pero no a K:

$$V_i(C) =_{df} I(C) - K(C) \quad [3.1]$$

Y como sólo $K(C)$ está bien determinado, el concepto de vaguedad intensional es él mismo vago. Y si utilizamos la intensión nuclear $I_n(C)$ (cf. sec. 2.3) en vez de la intensión conocida $K(C)$, admitimos incluso una zona más amplia de vaguedad, puesto que $I_n(C) \subseteq K(C)$. Como es natural, es un desiderátum de la investigación científica el estrechar la diferencia entre $I(C)$ y $K(C)$, o sea, el reducir el halo de $K(C)$. (Cf. fig. 3.1.)

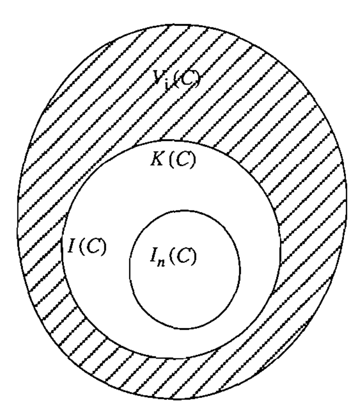


FIGURA 3.1. Vaguedad intensional: la zona rayada (cuyo límite externo es impreciso). Los círculos representan conjuntos de propiedades, no de individuos.

El concepto de *vaguedad extensional,* en cambio, puede determinarse completamente. Una comprobación de confianza de la determinación extensional de un concepto es su rendimiento en la dicotomía: si un concepto C nos permite llevar a cabo sin ambigüedad y exhaustivamente una división de todo conjunto en el subconjunto $E(C)$ de todos los miembros que tienen la propiedad $C(x)$ y el subconjunto complementario, $E(\bar{C})$, de todos los elementos que no satisfacen la función $C(x)$, entonces la extensión o denotación de C está enteramente determinada. Y si, en cambio, hay cierto número de casos limítrofes que puedan agruparse igual en $E(C)$ que en $E(\bar{C})$ –como ocurre, por ejemplo, en una clasificación por la calvicie para hombres que estén en proceso de llegar a calvos–, entonces la extensión $E(C)$ de C está parcialmente indeterminada, y la proporción de casos limítrofes medirá su vaguedad extensional.

*Esa sugerencia puede precisarse más. Para conceptos precisos, o sea, no vagos, el solapamiento entre $E(C)$ y su complemento $E(\bar{C})$ es vacío, o sea $E(C) \cap E(\bar{C}) = \varnothing$; consiguientemente, el tamaño o medida de esa parte común es cero: $M[E(C) \cap E(\bar{C})] = 0$. Tales son los conceptos exactos que maneja la teoría de conjuntos. Pero para conceptos vagos la medida $M[E(C) \cap E(\bar{C})]$ del solapamiento de $E(C)$ *y* $E(\bar{C})$ será un número no negativo, n, y la razón de n a la medida N del universo $U = (C) \cup (\bar{C})$ medirá la vaguedad de C. O sea: podemos definir la vaguedad extensional $V_e\,(C)$ de un concepto C como:

$$V_e\,(C) =_{\mathrm{df}} \frac{n}{N} \qquad [3.2]$$

Análogamente, el concepto de determinación extensional o precisión conceptual puede definirse así:

$$D_e\,(C) = 1 - V_e\,(C) \qquad [3.3]$$

Como $M(\bar{C} \cap \bar{\bar{C}}) = M(\bar{C} \cap C) = M(C \cap \bar{C})$, concluimos que $V_e\,(\bar{C}) = V_e\,(C)$, y análogamente para la determinación extensional. O sea, la vaguedad (o la determinación) extensional es de la misma medida para cada miembro de un par de conceptos opuestos.*

Si la extensión de un concepto es un conjunto finito, su vaguedad extensional será simplemente el porcentaje de casos limítrofes, de modo que el cómputo, cuando puede hacerse, o el examen de muestras al azar facilitarán estimaciones de esa fracción n/N que es la razón de los casos poco claros (n) al número total de casos (N). Por ejemplo, si se califica a los estudiantes de 0 a 10, con 5 como punto divisorio entre los aceptables y los inaceptables, la zona de vaguedad será más o menos el intervalo [4,6]. Como la medida de este conjunto es 2, la vaguedad de los conceptos "examen aceptable" y "examen inaceptable" respecto del procedimiento de calificación indicado es 2/10 = 1/5. En otros casos la zona de vaguedad puede estar ella misma vagamente limitada; y así será más o menos indeterminada la fracción de casos limítrofes. En esos casos puede tenerse en cuenta el límite superior o contorno externo de la zona de vaguedad, con objeto de tener un límite superior del grado de vaguedad.

La *vaguedad total* de un concepto puede introducirse del modo siguiente:

$$V(C) = \langle V_i\,(C), \quad V_e\,(C) \rangle \qquad [3.4]$$

Esto nos va a permitir definir el concepto de significación imprecisa. Si un concepto *C* es confuso, también lo será el término *'t'* que lo designe, aunque el término mismo sea un signo nada ambiguo, esto es, aunque *'t'* designe precisa y exclusivamente a *C*. Como un concepto puede ser vago intensional y/o extensionalmente, el término correspondiente será indeterminado en la misma medida. Y una indeterminación de la intensión o la extensión de un concepto –de acuerdo con nuestra definición de 'significación', [2.23] de la sec. 2.3– se reflejará en una imprecisión del término correspondiente. En consonancia con nuestras anteriores fórmulas podremos, pues, definir la *indeterminación de significación* del modo siguiente:

Si '*s*' designa a *C*, entonces:

$$\textit{Indeterminación de significación}\,(s) = V(C) = \langle V_i(C),\ V_e(C)\rangle \quad [3.5]$$

Examinemos ahora el alcance metodológico del concepto de vaguedad.

¿Qué relación hay entre vaguedad intensional y vaguedad extensional? La vaguedad intensional es una condición necesaria, pero no suficiente, de la vaguedad extensional: si un concepto es extensionalmente vago, entonces lo es también intensionalmente, pero la afirmación inversa no es necesariamente verdadera. Efectivamente, la vaguedad intensional es compatible con una extensión aceptablemente determinada. Así, por ejemplo, "catalizador", "cáncer" y hasta "talento" son intensionalmente bastante vagos todavía, pero puede conseguirse que su extensión sea bastante determinada con la ayuda de criterios prácticos (reglas de decisión) que nos permitan decidir si un objeto dado cae o no cae en la extensión de cada uno de esos conceptos. Tales criterios prácticos consisten en considerar unas pocas notas inequívocas (cf. sec. 2.3) como *suficientes* para incluir algo en una clase; esto y no más es lo que se hace, por ejemplo, cuando se considera la capacidad de razonar como prueba de naturaleza humana de un ser. Aunque tales notas inequívocas permiten una identificación efectivamente inequívoca, una clasificación segura, ellas mismas pueden no ser de gran importancia y, consiguientemente, si se toman solas, pueden dar de sí caracterizaciones superficiales. Por ejemplo, la mera presencia de una articulación dental suele utilizarse como criterio práctico para identificar un fósil como mamífero, aunque aún no se sabe por qué ese carácter osteológico debe ponerse en relación con el carácter de vivíparo y otras propiedades esenciales de los mamíferos. Análogamente, las pruebas de acidez y de inteligencia, al descubrir la presencia de ciertas condiciones suficientes, nos ayudan a determinar la extensión, aunque no la intensión, de los conceptos correspondientes.

La vaguedad extensional puede reducirse también llevando a cabo divisiones cada vez más finas. Así, la introducción de la categoría de transición "examen mediocre" entre los aceptables y los inaceptables reduce la vaguedad extensional de estos últimos conceptos, pero no la vaguedad total del concepto de calidad de examen. En la práctica, si calificamos los exámenes de un conjunto de estudiantes con una escala de 0 a 10, podemos asignar a los exámenes inaceptables el intervalo [0, 4], a los mediocres el intervalo [4, 6], y a los aceptables el intervalo [6, 10]. Pero ahora en vez de un solo intervalo central de vaguedad: tendremos dos zonas más estrechas de vaguedad: habrá una penumbra de 1/10, por ejemplo, entre "inaceptables" y "mediocres", y otra zona análoga entre la cate-

goría de transición y "aceptables". (Cf. fig. 3.2.) Otra división más fina disminuirá ulteriormente la vaguedad de las categorías específicas –*A, B, C, D, F,* pongamos por caso– pero sin cambiar la vaguedad del conjunto, que en este caso es el concepto genérico de calidad del examen. En general, podemos decir: divisiones más finas disminuyen la vaguedad extensional de las categorías específicas subsumidas bajo la categoría principal, pero sin disminuir necesariamente la vaguedad de esta última. Y hay que tener en cuenta que no podemos sustituir simplemente la categoría principal por la unión de todas las categorías más finas subsumidas bajo ella: necesitamos a la vez el concepto original (el universo del discurso) y los componentes que se descubren al analizarlo.

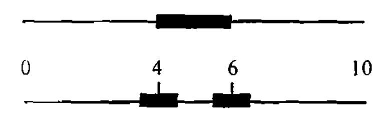


FIGURA 3.2. La división más fina redistribuye la vaguedad.

A veces la vaguedad conceptual refleja una nebulosidad o indeterminación objetiva, no en el sentido de que los hechos sean confusos, pero sí en el de que entre los géneros naturales hay a menudo *formas de transición.* Estas formas de transición impiden una demarcación tajante, dan lugar a vaguedad conceptual y pueden arruinar incluso clasificaciones. Hay dos ejemplos característicos de esto, que nunca han dejado de suscitar dificultades: los elementos de transición en química y las especies biológicas intermedias.

Al disponer los elementos químicos según el número de electrones de la última capa, como suele hacerse, se presentan dificultades cuando esa capa ha empezado a formarse antes de que estuviera completa alguna capa interna, cosa que no es nada rara, puesto que el clasificador no ha tomado en consideración las capas internas. Así, por ejemplo, el hierro, el cobalto y el níquel tienen cada uno dos electrones en su capa externa; por tanto, según una vieja opinión, tendrían que colocarse en una misma columna (grupo VIII) de la tabla periódica; pero esto arruinaría la ordenación respecto del número atómico. En este caso tiene éxito el expediente, ya indicado, de llevar a cabo una división más fina: el grupo VIII se subdivide en tres subgrupos.

Las especies biológicas de transición plantean un problema aún más difícil. En primer lugar, porque la gradación es menos discontinua que la de los elementos químicos. En segundo lugar, porque la vaguedad de los conceptos afectados es mucho mayor que en el caso de la química, que conoce al menos suficientemente algunas propiedades esenciales o troncales, como el número atómico y la distribución de los electrones en capas. Considérese, por ejemplo, el problema de la clasificación de los therápsidas (*Cynodontia* y *Bauriamorpha*). Se trata de un grupo de transición, hoy extinguido, situado entre los reptiles y los mamíferos. Si se toman como definitorios (como notas inequívocas) algunos caracteres puramente esqueléticos, *Therapsida* se clasificará en *Reptilia.* Pero si se eligen como notas inequívocas ciertos caracteres fisiológicos razonablemente inferidos por los especialistas, se podrá situar a *Therapsida* en *Mammalia.* Se han propuesto las dos soluciones, y no se ha llegado a un acuerdo. Por lo demás, ni en este punto ni en nin-

gún otro problema taxonómico puede alcanzarse un acuerdo a menos de tener previamente formulados y aceptados los *criterios* de clasificación. Siempre son, en efecto, posibles diversas clasificaciones, y todas lógicamente correctas, basadas en criterios diversos. Discutir las posibles consecuencias –por ejemplo, la complicación– que puede tener la colocación de una forma de transición en tal o cual clase, sin haber coincidido antes acerca del *fundamentum divisionis*, es una pura pérdida de tiempo.

*Planteemos de un modo general el problema de la *clasificación de las formas de transición*. Sean C_1 y C_2 dos conceptos de clase, por ejemplo los de reptil y mamífero, y sea C_{12} un tercer concepto, que refiere a un grupo como *Therapsida*, situado en algún lugar entre C_1 y C_2. Convendremos en que C_{12} es un *grupo de transición* si y sólo si su intersección con las partes comunes de C_1 y C_2 no es vacía (o sea, si $C_{12} \cap (C_1 \cap C_2) \neq \varnothing$). Supongamos además que cada uno de los tres conceptos está claramente definido por sus notas inequívocas (cf. sec. 2.3), del modo siguiente:

$$
\begin{aligned}
C_1x &=_{\text{dft}} R_1x \ \& \ R_2x \ \& \ \ldots \ \& \ R_rx \\
C_{12}x &=_{\text{dft}} T_1x \ \& \ T_2x \ \& \ \ldots \ \& \ T_tx \\
C_2x &=_{\text{dft}} M_1x \ \& \ M_2x \ \& \ \ldots \ \& \ M_mx
\end{aligned}
$$

(Los números de notas inequívocas pueden ser o no ser los mismos; especies íntimamente relacionadas pueden presentar una homología bastante completa entre diferentes caracteres, pero categorías taxonómicas más altas, como las clases, no serán, en general, homólogas, y, consecuentemente, diferirán también en el número de sus notas inequívocas. Además, el número de notas inequívocas no depende sólo del objeto de estudio, sino también de nuestro conocimiento; así, por ejemplo, sin duda conocemos mejor a las moscas drosófilas que a los hombres, y a unas y otros mejor que a los therápsidas.) Los datos de nuestro problema son de este tenor: la forma de transición C_{12} tiene tales y cuales caracteres en común con C_1 y tales y cuales otros en común con C_2. En resolución: se nos dan las intersecciones de las intensiones de los tres conceptos afectados, y el problema es: ¿Dónde colocaremos a C_{12}?

Una solución para ese problema requiere un examen detallado de las relaciones entre las intensiones de los tres conceptos. Puesto que hemos definido "intensión" como un conjunto (de propiedades), podemos facilitar la discusión dibujando diagramas de Euler-Venn en los cuales los círculos simbolizan haces de propiedades, no conjuntos de individuos. Los casos que satisfacen nuestra definición de "grupo de transición" se ilustran en la fig. 3.3; son:

(*i*) La intensión nuclear de C_{12} es una parte propiamente dicha de la intensión nuclear de C_1; C_1 tiene todas las notas inequívocas de C_{12} y, además, algunas propias suyas (o sea: $r > t$).

(*ii*) La intensión nuclear de C_{12} es una parte propia de la intensión nuclear de C_2; C_2 tiene, además de las notas inequívocas de C_{12}, otras propias suyas ($m > t$).

(*iii*) La intensión nuclear de C_{12} está incluida en la intersección de las intensiones nucleares de C_1 y C_2 (o sea: $C_{12} \subseteq C_1 \cap C_2$, y $t < r$, $t < m$).

(*iv*) La intensión nuclear de C_{12} contiene la intersección de las intensiones nucleares de C_1 y C_2 (o sea: $C_1 \cap C_2 \subseteq C_{12}$).

(*v*) La intensión nuclear de C_{12} se solapa parcialmente con la intersección de las intensiones nucleares de C_1 y C_2, pero sin que se cumpla ninguna de las condiciones anteriores.

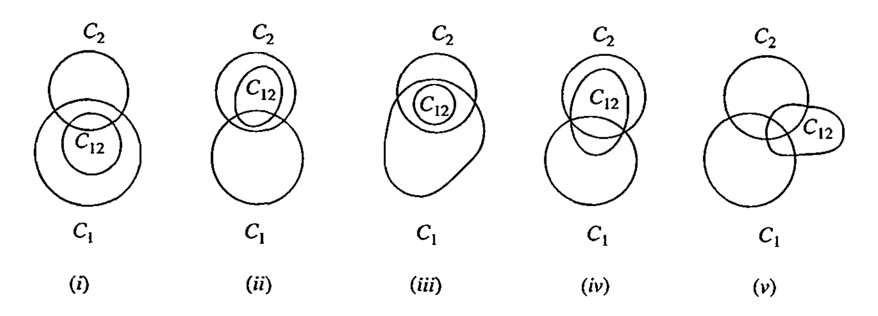


FIGURA 3.3. Las relaciones posibles (en intensión) entre el grupo de transición C_{12}, su antepasado inmediato y su descendiente inmediato.

Hasta el momento no se ha puesto en claro cuál de las anteriores posibilidades lógicas es la realizada en la naturaleza; consiguientemente, no puede imponerse decisión alguna respecto de los lugares respectivos de *Reptilia, Therapsida* y *Mammalia.* Ninguna decisión fundada puede tomarse sino después de haber establecido, provisionalmente al menos, las indicadas relaciones de clases. Cuando puedan establecerse, la decisión se tomará de acuerdo con las siguientes reglas:

(*i*) Si la realizada es la posibilidad (*i*), *Therapsida* se incluirá en *Reptilia.*

(*ii*) Si la realizada es la posibilidad (*ii*), *Therapsida* se incluirá en *Mammalia.*

(*iii*) Si se realiza alguna de las otras posibilidades (*iii*)-(*v*), *Therapsida* se considerará como un grupo separado.

Incluso cuando puede hacerse una distinción tajante, ésta puede no ser definitiva, porque el criterio de clasificación puede no ser completamente adecuado; además, puede perfectamente haber más de un criterio o *fundamentum divisionis*, como ocurre frecuentemente cuando se trata de rangos de una jerarquía. Así, por ejemplo, puede ser deseable el completar las consideraciones morfológicas con otras independientes de ellas, sobre todo teniendo en cuenta que, como sabemos, la morfología sola es insuficiente y lleva a error. Entre esas consideraciones suplementarias habrá que aducir la semejanza de varias líneas evolutivas correspondientes a las diversas agrupaciones posibles. (Así, si los therápsidas se clasifican con los reptiles, habrá que inferir que los mamíferos se han desarrollado a partir de ellos y en líneas paralelas, que serán de cuatro a nueve: origen polifilético. En cambio, si los therápsidas se incluyen entre los mamíferos, habrá que inferir un origen monofilético de éstos. Ahora bien: parece improbable la hipótesis de que la nebulosa zona limítrofe entre los reptiles y los mamíferos fue atravesada independientemente por 4-9 líneas diferentes de reptiles parecidos a los mamíferos: puesto que la probabilidad de tal complejo de acontecimientos es igual al producto de las diversas posibilidades de transición –cada una de las cuales es menor que la unidad–, puede hablarse de una probabilidad muy baja. Esta observación teorética, que no es ni mucho menos con-

cluyente, habla en favor de la solución de incluir *Therapsida* en *Mammalia* o de concebirlos como una clase por sí mismos. Filosóficamente es irrelevante la cuestión de si esta argumentación tiene o no tiene peso: la hemos expuesto sólo para ilustrar el tipo de consideraciones que pueden servir para resolver los problemas planteados por las formas de transición. Como dijimos en la sec. 2.5, la taxonomía no es una ciencia independiente ni puede progresar separadamente de la teoría.)

Sea de ello lo que fuere, concluiremos diciendo que antes de proponer solución alguna para un problema referente a la situación de un grupo de transición en la sistemática biológica hay que llevar a cabo las siguientes tareas: (*i*) determinar las intensiones nucleares de los principales conceptos afectados; (*ii*) hallar sus relaciones lógicas; (*iii*) discutir la situación a la luz de principios generales de la teoría biológica (relativos, por ejemplo, a la viabilidad de las líneas de descendencia en principio imaginables que acompañarían a cada una de las relaciones entre las cuales hay que decidir). Nos bastará esta discusión para admitir que el trabajo taxonómico puede llegar a ser tan complejo y refinado, lógica y teoréticamente, como se desee.*

Vamos a terminar. Puede afinarse la significación de los signos, y reducirse la vaguedad de los correspondientes conceptos, si no enteramente, al menos sustancialmente y de diversos modos. La vaguedad extensional puede comprimirse introduciendo divisiones más finas o adoptando criterios prácticos que no necesiten adentrarse hasta el fondo del asunto, así como ejecutando las correspondientes operaciones empíricas. Y la vaguedad intensional puede reducirse mediante el análisis lógico y la investigación teorética, especialmente multiplicando las relaciones constantes (enunciados legaliformes) en las cuales se presentan los conceptos dados, así como desplegando la estructura de la teoría en la cual están incorporados. Consecuentemente, la significación de un signo –que, según nuestro punto de vista, se compone de la intensión y la extensión del concepto correspondiente– no puede afirmarse con sólo operaciones empíricas. La significación de los conceptos no-formales se especifica gradualmente mediante una combinación de investigación teorética e investigación empírica. Consideremos ahora más de cerca los varios procedimientos de dilucidación.

Problemas

3.1.1. No hace falta conocimiento especializado para averiguar si un teléfono funciona bien o no: basta un poco de habilidad práctica. En cambio, hace falta algún conocimiento de ingeniería de telecomunicaciones para precisar la connotación de "teléfono en buen funcionamiento". Describir esta situación con los términos dilucidados en el texto. *Problema en lugar del anterior*: Discutir la relevancia de la ambigüedad y la vaguedad para el planteamiento de problemas. Indicación: Empezar por analizar cuestiones como '¿Qué es x?' y '¿Cuánto es algo?'

3.1.2. La lógica tradicional de los conceptos sostiene que la intensión y la extensión de los conceptos son inversas en el sentido de que los conceptos más extensos (por ejemplo, "objeto") son los que connotan menos propiedades. Determinar (*i*) si "centauro" ejemplifica esa doctrina, y (*ii*) si la existencia de conceptos de denotación fija e intensión variable (ejemplificar) concuerda con esa doctrina.

3.1.3. ¿Sostendríamos que toda persona es o calva o no calva? En caso negativo, ¿inferiría-

mos que la ley de tercio excluso no es universalmente válida, o diríamos más bien que la ley no se aplica más que cuando los conceptos son precisos? Cf. B. Russell, "Vagueness", *The Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, *I*, 84, 1923, y S. Körner, "Deductive Unification and Idealisation". *British Journal for the Philosophy of Science*, XIV, 274, 1964.

3.1.4. Discutir las siguientes propuestas para medir la vaguedad de una proposición a base de la vaguedad de los conceptos presentes en ella. (*i*) La vaguedad de una proposición es igual a la vaguedad del más vago de todos los conceptos que intervienen en ella. (*ii*) La vaguedad de una proposición es igual a la suma de la vaguedad de los conceptos que la constituyen, dividida por el número de dichos conceptos. Considérense, para empezar, las siguientes sencillas formas proposicionales: $p_1 = c \in A$ y $p_2 = A \subset B$, siendo A y B clases y c un individuo. Supongamos además que los conceptos formales son totalmente determinados, o sea, que $V(\in) = V(\subset) = \langle 0, 0\rangle$. Si se admite además que c es preciso, ambas propuestas dan el mismo resultado como vaguedad total para p_1, a saber: $V(p_1) = V(A)$. En cambio, la medida de vaguedad difiere para p_2. En efecto, llamando a $V(A)$ $\langle a_1, a_2\rangle$, y a $V(B)$ $\langle b_1, b_2\rangle$, y suponiendo que $a_1 \geq b_1$ y $a_2 \geq b_2$, la primera propuesta da como resultado $V(p_2) = V(A) = \langle a_1, a_2\rangle$, mientras que la segunda (si $V(A) > V(B)$) da $V(p_2) = \langle \frac{1}{2}(a_1 + b_1), \frac{1}{2}(a_2 + b_2)\rangle$. Para un enfoque diferente, que utiliza los conjuntos borrosos, véase J. A. Goguen, "The logic of inexact concepts", *Synthese*, 19, 325-373, 1969.

3.1.5. Distinguir entre el concepto semántico de vaguedad y el concepto psicológico de oscuridad y relacionarlos. *Problema en lugar del anterior*: A veces, un autor científico utilizará deliberadamente una fraseología elusiva (vaga), no por deshonestidad intelectual, sino, por el contrario, porque el uso de expresiones más determinadas exigiría un conocimiento más preciso que el existente. Así, por ejemplo, se habla de semejanza o afinidad de organismos, o de la onda de De Broglie, *asociada* a un electrón, y no se dice que sea *idéntica* con él, ni que lo *guíe*, porque la hipótesis de identidad y la hipótesis de la onda-piloto han dado lugar a difíciles problemas, mientras que el concepto de asociación no compromete a nada mientras se dejen sin determinar la naturaleza y el mecanismo de dicha asociación. Ofrecer más ejemplos de vaguedad deliberada y honrada, y obtener algunas consecuencias sobre las relaciones entre el lenguaje y el conocimiento. Por último, comparar este tipo de vaguedad con la oscuridad de ciertas filosofías.

3.1.6. Las especies vegetales y animales constan frecuentemente de varias subespecies que difieren entre sí genética, morfológica y ecológicamente. Dicho de otro modo: muchas especies son complejas o politípicas. Un criterio habitual para agrupar individuos en una subespecie dada es éste: si por lo menos el 75% de los ejemplares de la población accesible pueden distinguirse inequívocamente de los de una población contigua, entonces constituyen una subespecie. Determinar, sobre la base de esa regla de decisión, el grado máximo de vaguedad extensional del concepto "subespecie".

3.1.7. La vaguedad de conceptos por lo que hace a las formas de transición, ¿se debe sólo a nuestra ignorancia, o corresponde también de un modo u otro a la realidad? ¿Sería posible eliminar esa vaguedad introduciendo, por ejemplo, conceptos cuantitativos de reptilidad y mamiferidad, por así decirlo? *Problema en lugar del anterior*: La existencia de casos limítrofes, ¿hace que la teoría de conjuntos sea inaplicable a la taxonomía?

3.1.8. Estudiar el estado actual de la cuestión del origen de los mamíferos y la clasificación de las especies intermedias entre los reptiles y los mamíferos.

3.1.9. ¿Debe ser el trabajo taxonómico predominantemente empírico o especulativo? En particular: la ordenación de caracteres diagnósticos según su importancia, ¿debe basarse en el ámbito de constancia entre los miembros de un grupo, o debe adecuarse a un tipo ideal (arquetipo, *Bauplan*) imaginado *a priori*, independientemente de la búsqueda de constancias? ¿O bien es este dilema falso, y existe la posibilidad de combinar la búsqueda empírica de constancias con consideraciones teoréticas que las expliquen?

3.1.10. No siempre es posible determinar si todo enunciado de una clase de enunciados es verdadero o falso. Cuando una clase de enunciados es tal que no resulta posible una división tajante entre los enunciados falsos y los verdaderos, se dice que es una *clase indeterminada*. Estudiar este problema de la vaguedad del concepto de conjunto de enunciados.

3.2. EXACTIFICACIÓN

Los conceptos se engendran y se crían de diversos modos: construyendo clases (p.ej., "mamífero"), agrupando clases en clases más amplias (p.ej., "vertebrado"), descubriendo relaciones (p.ej., "ascendencia"), inventándolos (p.ej., "evolución"), etc. Ninguno de esos procedimientos es metódico, esto es, no se conocen para ellos procedimientos estandarizados (técnicas) de *formación de conceptos*. A lo sumo hay indicaciones anticonceptivas, como "No rebasar la observación". Los conceptos se forman espontáneamente, a medida que crece el conocimiento común o especializado; después de todo, los conceptos no son más que píldoras de conocimiento. De este modo más o menos vago nacen y se desarrollan los conceptos.

Una vez concebido un concepto tolerablemente vago, puede ser deseable y posible *dilucidarlo,* esto es, precisar su significación. La filosofía y la ciencia tienen procedimientos determinados, o sea, técnicas, para esa precisión de signos y conceptos. Las técnicas de dilucidación conceptual pueden clasificarse en tres grupos: (*i*) *interpretación* por referencia a lo que el signo o concepto representa; (*ii*) *análisis,* o sea, definición por ejemplo; (*iii*) *síntesis*, o construcción de un conjunto ordenado de enunciados (teoría) en el cual el concepto en cuestión se presenta ya como ladrillo de la construcción (concepto no-definido), ya como idea definida. El procedimiento de dilucidación consistente en insertar el concepto en una teoría se examinará en el capítulo 7; en el presente estudiaremos la interpretación y el análisis.

Del mismo modo que los seres vivos presentan huellas de procesos evolutivos, así también todo sistema de conceptos científicos presenta los estadios de su propia evolución desde la forma primitiva a las progresadas. En los contextos científico y tecnológico podemos, en efecto, distinguir entre tres niveles de conceptos por lo que hace a su finura: (*i*) *conceptos tomados del conocimiento común* (p. ej., "fuerza muscular"); (*ii*) *afinamientos de conceptos tomados del conocimiento común* (p. ej., "fuerza" en física); (*iii*) *conceptos de introducción nueva* (p. ej., "entropía"). Ningún elemento del discurso científico se mantiene enteramente al nivel conceptual inferior: si lo hiciera, no rebasaría el conocimiento común (sec. 1.1). Y ninguna ciencia queda totalmente encerrada en el nivel superior: si lo hiciera, sería incapaz de establecer contacto con la experiencia, y, por tanto, de explicarla y de beneficiarse de ella. Toda rama de la ciencia, tanto pura como aplicada, contiene enunciados que establecen vínculos entre conceptos que pertenecen a los diversos niveles de artificialidad conceptual; esos vínculos no eliminan las peculiaridades de los conceptos: por ejemplo, no son definiciones que nos permitan reducir todos los conceptos científicos a conceptos ordinarios. (Sobre la relación entre conceptos de nivel alto y conceptos observacionales, cf. secs. 8.4, 15.3, y 15.6.)

Se ha negado por varias razones que el progreso científico quede frecuentemente sellado por la invención de ideas radicalmente nuevas. Aduciremos aquí dos de esas razones. Se dice, en primer lugar, que el pensamiento no puede sino reflejar, a lo sumo, la realidad (materialismo primitivo) o la experiencia (empirismo primitivo), y que, consiguientemente, no puede haber invención o creación de ideas. Pero sólo las teorías factuales propiamente dichas, o sea, sistemas que contienen conceptos teoréticos (cf. sec. 2.6), pueden dar razón de la realidad y del subconjunto de la misma que es la experiencia. Una objeción, menos divulgada, contra la posibilidad de que haya novedad conceptual es fruto de algunos de los inventores de la mecánica cuántica, la cual se caracteriza, precisamente, por una novedad rara vez alcanzada por anteriores teorías. Esos autores, muy paradójicamente, han sostenido que una teoría factual no puede introducir conceptos radicalmente nuevos porque los resultados de la observación y del experimento se describen en gran parte con términos del lenguaje ordinario. Esta objeción se debe a la difundida confusión entre lo que dice una teoría y el modo como se la somete a contrastación. Esta confusión entre significación y contrastabilidad se encuentra en la raíz de la filosofía operativista de la ciencia (cf. sec. 3.6). Además, tampoco es del todo verdad que la descripción de las observaciones y los experimentos científicos puedan realizarse siempre con sólo conceptos ordinarios. El genetista que manipula ácidos nucleicos no será capaz de evitar términos teoréticos para describir los resultados de sus experimentos, y aún menos podrá hacerlo al explicar esos experimentos. Aún más: ya el mero plan y la interpretación de sus experimentos requerirán conceptos técnicos, porque tanto el planeamiento de experimentos como la lectura de los instrumentos suponen hipótesis y sistemas de hipótesis. La pureza de la ciencia no se consigue por el procedimiento de mantenerse al nivel del sentido común, sino fundamentando y contrastando las conjeturas.

El no atender más que a los resultados de las operaciones empíricas despreciando las ideas que les subyacen, dará una imagen deformada del conocimiento científico y una epistemología vulgar, según la cual la ciencia no es más que sentido común afinado (sec. 1.1). Además, puede dar lugar al estancamiento científico. Un ejemplo de ello es la habitual resistencia de muchos físicos a inventar conceptos nuevos para dar razón de los graves problemas irresueltos planteados por el inesperado comportamiento de partículas elementales y núcleos atómicos. Es muy posible que, igual que el paso de la macrofísica a la microfísica requirió la invención de nuevas ideas, así también el paso ulterior, tan necesario, a los niveles de organización recientemente descubiertos requiera la introducción de ideas radicalmente nuevas. En última instancia, la materia tiene en esos niveles propiedades que las teorías disponibles hoy no nos permiten entender. Nuevos niveles, nuevos conceptos; y a la inversa: cuando se dispone de nuevas ideas, puede esperarse el descubrimiento de nuevos niveles. Y a veces las ideas que guiaron a la investigación en el descubrimiento de nuevos campos resultan valer para esos ámbitos, al menos en una primera aproximación.

Una vía corriente (pero no un método) de progreso conceptual es la *exportación* de ideas (de conceptos, particularmente) fuera de su contexto originario. Por ejemplo, el concepto de tensión (estrés) ha sido exportado con provecho de la física a la psicología y la sociología. Pero, a menos de que se lleve a cabo muy cuidadosamente, una tal exportación de conceptos técnicos puede dar lugar a confusión. Tal fue lo que ocurrió cuando

el término 'campo' fue tomado de la física por algunos biólogos ("campo morfogenético") y psicólogos, con la implicación de que se trataba de algo así "como" campos de fuerza físicos, pero sin indicaciones acerca de la naturaleza, la estructura y la medición del campo. Para ser fructíferos, los términos exportados tienen que cubrir por lo menos el concepto inicial, y tienen que sugerir nuevos problemas fecundos, o ser asimilados por una teoría científica del nuevo campo; el concepto exportado no debe usarse metafóricamente, o para dar la apariencia de un planteamiento científico, ni para disimular la pobreza conceptual. Tomados en sí mismos, los signos no son ni buenos ni malos.

Algunos conceptos no son exportables en ningún caso: designan cosas, propiedades o hechos peculiares a un campo determinado. Así, una exportación del concepto de vida daría lugar al animismo; y el concepto de máquina, si se amplía excesivamente, lleva a una ontología mecanicista que pierde riqueza de niveles. Otros conceptos son inextensibles, en el sentido de que son *rígidos*: son conceptos de clase, como "gato" y "reposo", que no pueden dar origen a conceptos relacionales, y aun menos, por tanto, a conceptos cuantitativos (cf. 2.2). El concepto de reposo es rígido por la siguiente razón: de un cuerpo tenemos que decir que está en reposo o no está en reposo respecto de un marco de referencia; no podemos decir que está más o menos en reposo que otra cosa, ni tampoco, naturalmente, que esté en reposo lento o rápido: hablar así sería autocontradictorio. Por otro lado, su dual, el concepto de movimiento, es en cambio *flexible*: puede calificarse (por ejemplo, "movimiento rápido") y cuantificarse (por ejemplo, "movimiento a 1 000 km/h"). Para evitar las paradojas de los presocráticos respecto del concepto de cambio basta pasar del concepto de reposo al de movimiento: una vez sustituido el concepto estático de ser por el concepto dinámico de movimiento, ya no puede producirse la contradicción "la flecha está en un determinado lugar y, al mismo tiempo, no está en ese determinado lugar". Ahora, en efecto, podemos decir que la flecha se mueve a través de un determinado lugar. Además, el concepto de movimiento nos permite eliminar el concepto de reposo mediante una definición explícita, a saber: "x está en reposo respecto de $y =_{df} x$ no se mueve respecto de y". (O bien, si se necesita el concepto cuantitativo de movimiento: "$R(x, y) =_{df} [V(x, y) = 0]$".) Como es obvio, este paso del rígido "reposo" al flexible "movimiento" no es una operación aislada y meramente lingüística: la operación acompaña a un profundo cambio en la teoría física y hasta en la concepción del mundo, a saber, a la sustitución de la física aristotélica, para la cual el reposo era más básico que el movimiento, por la dinámica física galileana. Lo cual, dicho sea de paso, tiende a mostrar que en la ciencia factual la selección de los conceptos básicos no es arbitraria, sino que puede implicar una transformación de la estructura categorial. La dilucidación de conceptos es, en la ciencia, contextual y gradual, y no es obra de lexicógrafos, lógicos o experimentadores, sino más bien de teóricos.

En el intento de dilucidar un concepto puede producirse una *deformación* del mismo, como resultado de la cual se pierden algunas notas características de su intensión inicial –y ello para bien o para mal. Así, por ejemplo, la psicología moderna ha transformado el concepto de espíritu en algo que tiene ya muy poco parecido con el concepto inicial, que hacía del espíritu un ingrediente de la sustancia inmaterial e inmortal llamada alma; hoy día tendemos a considerar el espíritu como un sistema de funciones somáticas (cf. sec. 1.6). Esta deformación del concepto ha sido parte del progreso de la ciencia. Otras defor-

maciones de conceptos pueden no ser progresivas ni ser impuestas por las necesidades de la ciencia, sino más bien por tesis filosóficas o hasta sociológicas. Ejemplos de deformaciones de conceptos que no han servido para aclarar nada fueron los intentos de reducir la masa a una aceleración, para eliminar el concepto de materia (cf. 3.3), así como la propuesta de considerar el progreso biológico como un mero aumento de adaptación, con objeto de favorecer a ideales conformistas.

Sea progresiva o no, la deformación de conceptos que tan frecuentemente se produce en la ciencia puede tener una motivación filosófica. Y es sumamente radical cuando supone una *reducción* de nivel, o sea, cuando muestra que las leyes que caracterizan un nivel son *las mismas* peculiares a un nivel que se considera distinto. Tal fue, por ejemplo, el caso de los conceptos de la óptica, cuando se mostró que esta disciplina es un capítulo de la teoría electromagnética. Cuando, aunque sin conseguir establecer una tal identidad, se consigue *deducir* un conjunto de leyes a partir de otro conjunto que se refiere a un inferior nivel de organización –como cuando se deducen leyes químicas a partir de leyes físicas, junto con hipótesis específicamente químicas sobre la composición y la estructura de las moléculas–, no se lleva a cabo ninguna genuina *reducción*, pero se obtiene algo no menos valioso, a saber, una dilucidación conceptual y la consiguiente vinculación de dos niveles de realidad diversos. No suele establecerse con absoluta claridad la distinción entre reducción y pseudo-reducción, pero el asunto es importante para la filosofía y para la ciencia, porque el reduccionismo tiene dos aspectos: por un lado estimula la exportación de conocimiento de bajos niveles a niveles altos; pero por otro lado inhibe la búsqueda de nuevas propiedades y leyes que, aunque arraigadas en las que caracterizan a niveles inferiores, surgen de ellas y no les son idénticas. En todo caso, la deformación de conceptos tiene lugar en contextos teoréticos y a veces supone consideraciones y problemas metafísicos (ontológicos).

Algunos conceptos son particularmente útiles para la ampliación y la dilucidación de otros conceptos. Destacan entre estos instrumentos de precisión los conceptos matemáticos de conjunto y de probabilidad. En cuanto que en algún contexto dado se mencionan propiedades –y eso no puede dejar de ocurrir–, pueden construirse mentalmente los correspondientes conjuntos de individuos que tienen esas propiedades. Por ejemplo, la clase engendrada por la propiedad simbolizada por el predicado monádico 'P' es: ($\mathscr{P} = \{x \mid P(x)\}$. Y una vez constituidos los conjuntos, el discurso puede ampliarse y precisarse con la ayuda de la teoría de los mismos. Así, por ejemplo, el resbaladizo concepto de vida –tantas veces tratado como si denotara una determinada sustancia– puede dominarse con ayuda de conceptos de la teoría de conjuntos de alguno de los modos siguientes. Una solución posible es la *extensionalización directa*, o sea, la definición del concepto de vida como el conjunto de los seres vivos: "Vida $=_{\mathrm{df}} \{x \mid x$ es un ser vivo$\}$". Con esto no se gana gran cosa: esta solución no sirve más que para evitar la caída en el error de considerar la vida como una entidad separada de la función misma de vivir. Otra dilucidación más iluminadora del concepto de vida es la *extensionalización indirecta,* o sea, el análisis de "vivo" como conjunción de ciertas notas inequívocas $P_1, P_2, \ldots, P_n$, procediendo luego a construir las clases correspondientes $\mathscr{P}_1, \mathscr{P}_2, \ldots, \mathscr{P}_n$ para tomar por último su parte común: $\mathscr{D} = \mathscr{P}_1 \cap \mathscr{P}_2 \cap \ldots \cap \mathscr{P}_n$. Este segundo procedimiento requiere, naturalmente, cierto básico conocimiento biológico que vaya más allá de la mera descripción de la vida ani-

mal y vegetal: se trata de una definición que recoge un cuerpo de conocimiento básico.

Dadas dos propiedades cualesquiera, P y Q, podemos construir los conjuntos correspondientes, $\mathscr{P}$ y $\mathscr{Q}$, y preguntarnos, por ejemplo, si $\mathscr{P}$ está incluido en $\mathscr{Q}$ o a la inversa. Luego podemos introducir los nuevos conjuntos formados mediante la operación de unión (o sea, $\mathscr{P} \cup \mathscr{Q}$) y de intersección ($\mathscr{P} \cap \mathscr{Q}$). Podemos también ir más alla de este estadio cualitativo y medir esos conjuntos. En particular, podemos hallar la medida de la intersección $\mathscr{P} \cap \mathscr{Q}$ respecto de la medida de $\mathscr{P}$, o sea, podemos calcular la razón $M(\mathscr{P} \cap \mathscr{Q})/M(\mathscr{P})$. Si este número satisface ciertos requisitos (los axiomas de la teoría de la probabilidad), puede interpretarse como la probabilidad de que un miembro del conjunto $\mathscr{P}$ sea también miembro del conjunto $\mathscr{Q}$. Una vez realizado este paso, puede aplicarse un nuevo cálculo, la teoría de la probabilidad, para ampliar el campo de estos conceptos y afinarlos. Entonces pueden introducirse y relacionarse unos con otros conceptos nuevos. Un par de ejemplos nos bastarán para mostrar lo potente que es esta técnica de dilucidación.

El enrevesado concepto de *posibilidad* puede dilucidarse a base del concepto de probabilidad, del modo siguiente: "x es posible $=_{df}$ hay un conjunto y, tal que todo miembro de y tiene una determinada probabilidad, y x pertenece a y". Dicho aún más brevemente: es posible todo lo que es probable. Si la probabilidad en cuestión –un número positivo menor que la unidad– puede tomar también el valor cero, entonces el concepto de posibilidad así precisado puede subsumir también el concepto de imposibilidad, más o menos como el concepto de reposo se ha convertido en un caso particular del de movimiento; del mismo modo que "reposo" se ha identificado con "movimiento de velocidad cero", así también "imposibilidad" se identifica entonces con "probabilidad cero". La precisión de conceptos por cuantificación puede así llevar a la disolución de viejas oposiciones de conceptos: muchas de estas supuestas oposiciones de conceptos resultan pues de un análisis primitivo e insuficiente que no veía más que los extremos e ignoraba las ricas gradaciones intermedias.

Análogamente, el concepto intuitivo o presistemático de *falibilidad* puede precisarse y, al mismo tiempo, ampliarse para su aplicación a una clase abierta de objetos: herramientas, máquinas, instituciones, teorías, amigos, etc. Efectivamente: la falibilidad de x puede definirse como la probabilidad del fallo de x en un determinado respecto durante un determinado intervalo temporal. El valor numérico de la falibilidad de algo puede entonces medirse, al menos en casos simples, por el porcentaje de fallos a largo plazo (dividido por el lapso total de tiempo, o número de unidades de tiempo). Y la *fiabilidad* de un objeto puede entonces definirse como el complemento de su falibilidad, o sea, como la probabilidad de que el objeto opere sin fallo en el respecto considerado y durante un lapso de tiempo determinado: $F(x) = 1 - P(x)$. De este modo tan incruento puede conseguirse que enteras masas de importantes conceptos queden sujetos a la lógica, el cálculo y la medición.

El progreso de la ciencia ha dependido en gran medida de la capacidad de aprovechar conceptos potentes y desprovistos de contenido empírico, especialmente los que se encuentran ya listos para el uso en la lógica y en la matemática. Biólogos, psicólogos, sociólogos, especialistas en gestión empresarial, estrategas y hasta filósofos hacen hoy día rápidos progresos en la medida en que descubren que algunos conceptos clave, como los

de conjunto, orden, función y probabilidad, pueden usarse como instrumentos para la precisión de conceptos y para la construcción de teorías. (Hasta hace muy poco, los especialistas de la ciencia de la conducta no habían usado el concepto de probabilidad más que a propósito de la contrastación de hipótesis estadísticas, de la forma, por ejemplo: "La probabilidad de que un miembro de una clase $\mathscr{P}$ sea también miembro de la clase $\mathscr{Q}$ es igual a la fracción p". Ahora piensan ya con conceptos probabilitarios, es decir, intentan formular enunciados que se refieren a la conducta y en los cuales el concepto de probabilidad aparece de un modo esencial. Dicho de otro modo: la probabilidad se usa ya en la construcción de teorías de la conducta, y no sólo en la contrastación empírica de las mismas.) Algo parecido debe ocurrir a quienes trabajan en la clasificación de objetos de varios géneros: estas personas se darán cuenta de que la teoría de conjuntos, la teoría de retículos y otras teorías matemáticas cualitativas (no-numéricas), suministran el esqueleto formal propio de la sistemática (de la taxonomía biológica, por ejemplo), y cuando se den cuenta de ello, mucho trabajo que es aún protocientífico llegará a ser científico. La idea de que la matemática no es más que un instrumento para calcular valores numéricos sigue aún influyendo en mucha gente, pero su caducidad se está difundiendo rápidamente: todos se van dando cuenta de que, aparte de su valor intrínseco, la matemática es muy valiosa para la ciencia factual porque es un instrumento de precisión de conceptos, de planteamiento y formulación de problemas, de formulación de conjeturas, de derivación de consecuencias lógicas, y, consiguientemente, de construcción de teorías. En resolución: la matemática es un instrumento para el perfeccionamiento y el progreso del pensamiento y de su expresión (cf. sec. 8.2). Ni los diccionarios ni los filósofos del lenguaje pueden aspirar a competir con la matemática en la tarea de precisar los conceptos.

Hemos aceptado como un hecho que los conceptos bien educados son preferibles a los caprichosos; pero los oscurantistas desean precisamente lo contrario, a saber, la máxima vaguedad de conceptos. Para un hombre ilustrado, la precisión de los conceptos es a la vez un fin en sí misma y un medio para el ulterior progreso conceptual. También se da como un remedio para terminar con querellas poco fundadas y favorecer el acuerdo, pero ésta es una ilusión más bien ingenua: cuanto más vagos son los conceptos de un contexto, tanto más fácil es el desencadenar una controversia y el terminarla con un acuerdo; mientras que cuanto más determinados sean los conceptos, tantos más serán los matices de opinión que se manifiesten. (Recuérdense los muchos modos como se ha leído la regla de Ockham: "No hay que multiplicar los entes sin necesidad".) Los conceptos no se precisan para disminuir las discrepancias entre los hombres, sino para aumentar la fecundidad de la investigación y de la discusión.

La precisión de los conceptos es un aspecto del proceso del conocimiento. La evolución de éste no consiste, efectivamente, en amontonar nueva información –como creen algunos caricaturistas– sino en un proceso creador y selectivo que gira en torno a la invención y el perfeccionamiento de ideas. La precisión de los conceptos tiene un papel indispensable en ese proceso: no puede sustituir a la invención original de oscuras ideas en embrión, pero sí ayuda a desarrollarla. Hay que insistir mucho en los dos aspectos de esta situación, porque el papel de la precisión de los conceptos como operación del proceso del conocimiento ha sido exagerado por algunos filósofos y despreciado por muchos científicos. La primera tendencia es comprensible: en última instancia, los filósofos

se ocupan sobre todo de ideas, y se supone que son por profesión especialistas del análisis conceptual. Y la exageración en el sentido contrario tampoco es sorprendente, teniendo en cuenta la difundida creencia de que la ciencia, a diferencia de la filosofía, no se ocupa de símbolos ni de sus designata como tales, sino sólo de "sólidos hechos". ¿No empezaron la ciencia y la filosofía modernas como una rebelión contra el huero verbalismo de un escolasticismo decadente? El lema de la Royal Society de Londres es *Nullius in verba*, "Nada en las palabras"; se trata de una consigna de la filosofía de Bacon, concebida como "una filosofía de obras, no de palabras". Pero se trata, naturalmente, de una ilusión: la ciencia es un sistema de ideas expresadas por signos, y muchos problemas de la investigación científica son discusiones acerca de las significaciones de signos, verbales o no verbales .

El reconocimiento de que una determinada discusión depende en última instancia de la especificación de la significación de un término puede reorientar todo un tema. Así, por ejemplo, discusiones acerca de si los virus son seres vivos, de si las abejas tienen una cultura o de si las calculadoras automáticas piensan, requieren una aclaración de los términos 'vida', 'cultura' y 'pensamiento', respectivamente. Muy a menudo hay que proponer así nuevas definiciones que dan a viejos términos significaciones más o menos nuevas. Cuando se introduce un concepto completamente nuevo, puede ser necesario acuñar un nombre también nuevo para el mismo. Pero hay que ser parsimoniosos en la introducción de neologismos, para evitar una hinchazón innecesaria de los vocabularios. La multiplicación de signos puede a veces no tener más objetivo que esconder vaciedad, como tan a menudo ocurre en la protociencia y la pseudociencia. Pero un exceso de parsimonia en esta cuestión de los neologismos puede tener también consecuencias turbadoras. Así, por ejemplo, desde 1650 hasta 1850 aproximadamente, el término 'fuerza' cubrió por lo menos cuatro conceptos diversos, aunque relacionados: los de fuerza muscular, fuerza mecánica. energía y potencia. Si se hubiera introducido tres términos nuevos, se habría podido evitar largas y complicadas discusiones basadas en parte en la ambigüedad del término. La aclaración definitiva de este caso supuso efectivamente una tal multiplicación de palabras, pero no fue resultado de investigación filosófica ni de análisis lógico, sino del descubrimiento de la conservación de la energía, hecho que puso en primer plano dicho concepto de energía. Esto es un ejemplo –dicho sea incidentalmente– de que los conceptos más importantes de la ciencia factual son los que se presentan en enunciados legaliformes; por eso ya la mera formulación y la interrelación de leyes es un real procedimiento para precisar la significación de los símbolos científicos. Este hecho no se ha entendido hasta hace muy poco tiempo.

El hecho es que durante dos milenios ha prevalecido la doctrina aristotélica según la cual (*i*) la definición es *el* procedimiento por el cual se asigna significaciones a los signos (a las palabras o a los signos no verbales), y (*ii*) la forma perfecta de definición es la que se hace mediante el género y la diferencia –como en el caso "Dos es el más pequeño número par", definición en la cual el género es la clase de los números pares, y 'el más pequeño' designa la diferencia específica entre 2 y los demás miembros de su género. Hoy día admitimos la existencia de diversos procedimientos para determinar signos y las ideas correspondientes. Podemos especificar la significación de un signo de modo más o menos completo y por diversas vías: por ejemplificación, por descripción informal y parcial

del designátum del signo (la llamada definición real), por clasificación, por definición, por la construcción de una teoría y tal vez por otras vías más. Nos hemos dado cuenta de que la definición no es más que uno de esos procedimientos, y sin duda mucho menos importante que la construcción de teorías. Además hemos aprendido que el intento de definir todo concepto nos hace caer en circularidad, como muestran las definiciones del diccionario, y que el modo de evitar ese vicio en un contexto dado consiste en empezar por admitir un conjunto de conceptos no-definidos (primitivos) que pueden aclararse mediante observaciones y ejemplos, pero, sobre todo, lo son por el papel que desempeñan en el sistema, y que sirven para definir todos los demás conceptos de dicho sistema. Pero el prestigio tradicional de la definición es tal que sigue llamándose así, demasiado frecuentemente, a todo procedimiento mediante el cual se *determine* en alguna medida el contenido y la función de símbolos.

Terminemos estas observaciones generales acerca de la precisión de conceptos clasificando los procedimientos de dilucidación desde un punto de vista semántico. La significación de un signo puede especificarse ya a base de otros signos, ya por referencia a objetos no lingüísticos. En el primer caso podemos hablar de una relación *signo-signo*, y en el segundo de una relación *signo-hecho*. Una definición como "Aislante $=_{df}$ no-conductor" es claramente una relación signo-signo. En cambio, " 'H' es el símbolo del hidrógeno", lejos de mantenerse enteramente en el nivel lingüístico, establece una relación entre un objeto lingüístico y un objeto físico. Tales relaciones dadoras de significación entre signos y objetos no-lingüísticos se llamarán *refericiones*. Distinguiremos dos géneros de refericiones: refericiones de signo-experiencia –por referencia a esta última– y refericiones de signo-objeto físico, que apuntan a signos o acontecimientos objetivos. Así, "Hagamos que '$V(x, y)$' denote el valor subjetivo (utilidad) atribuido por un sujeto x a un objeto y" es una referición signo-experiencia. En cambio, "Hagamos que 'E_n' denote el n-ésimo nivel de energía del átomo" es una referición signo-objeto físico. Como veremos, ciertas filosofías niegan la mera existencia de refericiones de este último género.

Estudiaremos ahora las definiciones y luego las refericiones.

Problemas

3.2.1. Examinar la exposición de la formación de conceptos dada por Sexto Empírico en *Adversus Mathematicos* [traducción inglesa de R. G. Bury, "Against the Professors", *en Works*, Londres, Heinemann, 1949, vol. IV], libro III. Obsérvese particularmente su crítica de la concepción empirista de los conceptos geométricos, supuesta en pseudodefiniciones como "La superficie es el límite de un cuerpo" o "La línea es el límite de una superficie". *Problema en lugar del anterior*: Discutir la doctrina aristotélica de la formación de conceptos, más tarde adoptada por los empiristas, y según la cual todo concepto se forma por abstracción a partir de algunos datos de experiencia.

3.2.2. Examinar algunos conceptos borrosos que figuran en la literatura de la psicología y de los estudios sociales, tales como los de unidad del alma, memoria colectiva, utilidad subjetiva, fuerza social y residuo. Véase, por ejemplo, P. Sorokin, *Fads and Foibles in Modern Sociology and Related Sciences* (Chicago: Henry Regner, 1956); G. A. Miller, *Mathematics and Psychology*

(Nueva York: Wiley, 1964); M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science* (New Haven CT: Yale University Press, 1996) [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

3.2.3. Repasar la dilucidación progresiva de algún concepto científico y precisar sus deformaciones, si ocurrieron.

3.2.4. Discutir la eliminación del problema de la vaguedad del par "alto" y "bajo", conseguida sustituyendo ambos conceptos por el concepto cuantitativo único de altura, cuya variable numérica tiene como campo de variabilidad un continuo de valores entre cero e infinito. Luego discutir la cuantificación en general como procedimiento para la precisión de conceptos.

3.2.5. La vaguedad de "cuerpo" en el contexto del conocimiento ordinario queda muy reducida en física, en la cual, "cuerpo" puede definirse como algo que satisface aproximadamente las leyes de la mecánica clásica. Dar más ejemplos de este tipo y discutir la teorización como procedimiento de precisión de conceptos.

3.2.6. ¿Por qué tomamos y nombramos triángulos, cuadrados, esferas y otras figuras sencillas, en vez de las formas más complejas e irregulares dadas en la experiencia? ¿No podríamos haber empezado la geometría con estas últimas?

3.2.7. Estudiar la función de conceptos que posibilitan amplias generalizaciones, como los conceptos de cero, conjunto vacío, conjunto unidad, punto impropio, línea impropia.

3.2.8. Comentar el siguiente texto de W. Heisenberg, cofundador de la mecánica cuántica, *Physics and Philosophy*, Londres, Allen and Unwin, 1959, p. 55: "Los conceptos de la física clásica no son más que afinamientos de los conceptos de la vida cotidiana, y son una parte esencial del lenguaje que constituye la base de toda la ciencia natural."

3.2.9. El concepto de masa se dilucida en los contextos de las diversas teorías de la mecánica. Ahora bien: toda medición precisa de la masa de un cuerpo dará un número inexacto, como, por ejemplo, $(1 \pm 0{,}001)$ g. Dicho de otro modo: el valor numérico de la masa de un cuerpo se conoce empíricamente –y eso si llega a conocerse– con algún error. ¿Indica esto que el concepto teorético de masa es vago? ¿O que hay una indeterminación en la aplicación de la construcción teorética "masa"? ¿O muestra más bien este hecho que los valores numéricos del concepto exacto de masa se conocen sólo con margen de error?

3.2.10. La evolución biológica puede caracterizarse por dos propiedades: *dirección* y *tasa* o ritmo. Mientras que el concepto de tasa de evolución ha sido dilucidado satisfactoriamente, el concepto de dirección de evolución sigue siendo vago. (La tasa de evolución de una familia dada puede definirse como el número de géneros originados en un millón de años.) Estudiar esta situación e intentar dilucidar el concepto de dirección de evolución. Cf. G. G. Simpson, *The Meaning of Evolution* (1949, New Haven, Yale University Press, 1960), cap. XI. *Problema en lugar del anterior*: En el caso del anterior problema, un dilucidandum ("evolución") fue dilucidado a base de dos conceptos, uno de dos cuales ("dirección de evolución") no es más claro que el concepto al que intenta precisar. Esta situación no es nueva en la ciencia; así, el concepto de calor se dilucidó a base de los conceptos de energía y temperatura mucho antes de que se diera al último una dilucidación satisfactoria (en el contexto de la mecánica estadística). Inferir de esto lecciones metodológicas.

3.3. DEFINICIÓN

Empecemos por aclarar que no vamos a considerar aquí ninguna de las connotaciones vulgares de 'definición', como descripción, identificación, clasificación o medición; es-

tudiaremos una especial operación técnica que se refiere a signos: la definición es propiamente una *correspondencia signo-signo* (cf. 3.2). En este sentido estricto una definición es una operación puramente conceptual por la cual (*i*) se *introduce formalmente* un nuevo término en algún sistema de signos (como el lenguaje de una teoría), y (*ii*) se *especifica* en alguna medida la significación del término introducido; en la medida, precisamente, en que es precisa la significación de los términos definientes.

Obsérvese, en primer lugar, la relatividad de la introducción y de la especificación de significación al sistema de signos: las definiciones de diccionario suelen estar enmarcadas en el contexto del conocimiento común, mientras que los términos científicos suelen definirse, si se definen, en el contexto de sistemas científicos. Fuera de su propio contexto, las definiciones pueden perder todo interés. En segundo lugar, la introducción de un nuevo término por medio de una definición es *formal* en el sentido de que el nuevo término puede haber surgido espontáneamente y no ser reconocido y condecorado oficialmente sino después de una larga existencia clandestina. En tercer lugar, las definiciones pueden precisar significaciones a condición de que los signos definientes tengan al menos algún significado –lo cual, por ejemplo no parece ser el caso de la pseudodefinición "El *Dasein* ek-sistente es el dejar-ser lo que-es" (Martin Heidegger).

El término introducido se llama *definiendum* –lo que hay que definir– y la expresión que lo define se llama *définiens*. Por ejemplo, en "Filogénesis $=_{df}$ Evolución de la especie", el definiendum es "filogénesis" y el definiens es el miembro derecho de la definición. El definiendum debe ser *nuevo en el sistema* de que se trate, pero puede ser un viejo conocido en otros contextos en los que acaso se presenta con la misma significación u otra parecida. Los términos definientes tienen que preexistir, como es natural, a la definición, ya en virtud de previas definiciones, ya por haber sido adoptados como definientes últimos en el contexto.

Para poder empezar a definir hace falta un conjunto de conceptos no-definidos, o conceptos *primitivos*. Por ejemplo, en el sistema de Peano para la aritmética, se toman como primitivos los conceptos de número natural, siguiente de un número natural y cero, además de conceptos genéricos (lógicos), como los de identidad, negación, conjunción y universalidad, que se usan para enlazar los primitivos específicos, formar con ellos enunciados y transformar éstos. En estática pueden tomarse como nociones primitivas independientes unas de otras los conceptos "sistema de referencia", "posición", "cuerpo" y "fuerza", junto con algunos conceptos genéricos (lógicos y matemáticos), como los de vector y suma de vectores. Y en la cinemática "tiempo" aparece en el lugar de "fuerza" en el anterior conjunto de conceptos no-definidos. En todo contexto factual tenemos, en resolución, que aceptar dos haces de conceptos básicos: (*i*) un conjunto de primitivos *genéricos* (lógicos y/o matemáticos) y (*ii*) un conjunto de primitivos *específicos* (temáticos). Generalmente los primeros se toman de un modo tácito de la ciencia formal, y a los últimos se les atribuye significación (en el sistema) por refericiones que suelen ser meramente indicadas, y no formuladas explícitamente.

Decir de un concepto que es no-definido o primitivo en un determinado contexto es caracterizarlo de un modo negativo y, por tanto, incompleto. Lo más importante por lo que hace a las nociones primitivas no es tanto el que sean definientes y puedan infundir significaciones a otros signos cuanto el que sean *ladrillos* para la construcción de teorías.

De hecho, todo supuesto básico, o axioma, de una teoría es simplemente un enunciado constituido sólo por primitivos genéricos y específicos. Una importante función (metateorética) de la definición es, consiguientemente, el indicar una división de los conceptos de un sistema en *básicos* y *derivados*. (Lo cual muestra, dicho sea de paso, que el lugar adecuado para una discusión formal de la definición está constituido por los capítulos sobre teoría, más que por esta introducción semántica.) De acuerdo con lo dicho, no suelen definirse los conceptos más importantes o básicos, sino los menos importantes, los que en principio podrían sustituirse por los definientes correspondientes. En cualquier caso, igual para un concepto que para un organismo lo principal es nacer: el reconocimiento oficial, como concepto primitivo o como concepto derivado, es cosa secundaria.

Por lo que hace a la forma lógica hay que distinguir entre dos géneros de *definición* propia o *nominal:* explícita e implícita. En la definición explícita el definiendum y el definiens están claramente separados por un signo especial; en la definición implícita los dos términos son distinguibles, pero inseparables: están, por así decirlo, integrados.

Las formas corrientes de la *definición explícita* son como sigue: (*i*) "$A =_{df} B$", o sea, A es igual a B por definición. Ejemplo: "Fenoménico $=_{df}$ Aparente a los sentidos de alguien". (*ii*) "$A = (\iota x)B(x)$", o sea, A es el único x que satisface la función $B(\ )$, o que tiene la propiedad B. Ejemplo: "La temperatura es la magnitud medida por los termómetros". (*iii*) "$(x)\ [A(x) \leftrightarrow B(x)]$", o sea, A es verdadero de todo x si y sólo si B es verdadero de todo x. Ejemplo: "Para todo x, y, z del conjunto de los números, $x/y = z \leftrightarrow x = y \cdot z$".

*La primera clase de definición es *metalingüística*: el signo '$=_{df}$' lleva el definiendum al metalenguaje del lenguaje en el cual reside el definiens. Las definiciones de las dos últimas clases, (*ii*) y (*iii*), son *intralingüísticas* o intra-nivel, en el sentido de que tanto el definiendum como el definiens pertenecen al mismo nivel lingüístico: efectivamente, tanto el símbolo descriptor 'ι' como el símbolo de equivalencia '$\leftrightarrow$' no pueden relacionar sino expresiones pertenecientes al mismo nivel lingüístico, o sea, al lenguaje objeto, en el cual no se hace referencia a otros objetos lingüísticos.*

En una *definición implícita* el definiendum no se presenta sólo en un lado de la relación de equivalencia, sino que es parte de un signo más complejo. Ejemplo 1: "Dos cuerpos tienen el mismo potencial eléctrico (o la misma temperatura) si y sólo si no fluye electricidad (calor) a través de un tercer cuerpo conductor que los conecte." Esta equivalencia define el concepto de igualdad de potencial eléctrico (de igualdad de temperatura). Ejemplo 2: La relación "raíz cuadrada" puede definirse implícita e intensionalmente a base de la relación "cuadrado": "$(y = \sqrt{x}) \leftrightarrow (y^2 = x)$"; pero también puede definirse explícitamente de un modo extensional: "$\sqrt{\ } =_{df} \{\langle x, y\rangle \mid y^2 = x\}$" representando '$\langle x, y\rangle$' el par ordenado formado por x e y. Las definiciones implícitas que consisten en equivalencias de algún tipo formulan condiciones *necesarias* y *suficientes* de la introducción de un símbolo. Se llamarán definiciones implícitas *simples*. Hay otras varias clases de definiciones implícitas que permiten cierto juego entre definiendum y definiens.

Las *definiciones implícitas condicionales* tienen forma condicional, como en el ejemplo "Si C, entonces (A si y sólo si B)", en la cual la cláusula C formula una condición de la equivalencia –condición, naturalmente, suficiente. Así, la definición implícita de la división aritmética "$x/y = z \leftrightarrow x = y \cdot z$" es válida para números, pero no para todo otro concepto matemático. Si se formula explícitamente la condición de que x, y, z deben ser

números –brevemente: "$x, y, z \in N$"–, para indicar el alcance de la definición, obtenemos una definición implícita condicional de la división aritmética: "$x, y, z \in N \rightarrow (x/y = z \leftrightarrow$ $\leftrightarrow x = y \cdot z)$". Podría argüirse que toda definición *completa,* implícita o explícita, es en última instancia condicional, y que sólo puede legítimamente prescindirse del antecedente de la condición cuando el contexto lo indica de un modo u otro.

A veces se recusan las definiciones condicionales porque todo enunciado de la forma "$C \rightarrow (A \leftrightarrow B)$" es automáticamente verdadero, independientemente de que se satisfaga el bicondicional $A \leftrightarrow B$, si el antecedente C es falso. Pero éstas son verdades vacías, y por lo tanto inútiles, pueden evitarse mediante la convención adicional de que se presupone C, es decir, de que se toma a C como verdadero. O sea, en vez de '$C \rightarrow (A \leftrightarrow B)$' podemos escribir: '$C$ & $[C \rightarrow (A \leftrightarrow B)]$'. Con esta precaución podemos exigir que se explicite en caso de necesidad la condición de cualquier definición.

Las *definiciones recursivas* son de uso muy frecuente en lógica y matemática, pero escaso en la ciencia factual. Una definición recursiva introduce un término por el procedimiento de relacionarlo con uno o más términos de un conjunto o una secuencia numerables. El brillo de las estrellas, por ejemplo, puede definirse por recurrencia: "$B_n = 2{,}5\ B_{n+1}$" definición en la cual 'n' refiere a la magnitud de la estrella. Las definiciones recursivas se limitan a miembros de conjuntos numerables, razón por la cual no pueden usarse para definir magnitudes. Además son incompletas, porque requieren la especificación independiente de uno de los miembros, generalmente el primero; así, en el caso de brillo de las estrellas la definición recursiva deja indeterminado a B_1. Esto, de todos modos, no es ningún defecto relevante cuando lo único que se desea es el concepto de brillo relativo.

Las *definiciones inductivas,* que contienen como subclase a las definiciones recursivas, son más determinadas que éstas porque fijan el valor del primer miembro de la secuencia. Ejemplo de definición inductiva es la de la suma de números naturales en el sistema aritmético de Peano, por medio de las dos expresiones: "$n + 0 = n$" y "$n + Sk = S(n + k)$", designando 'S' la función "el siguiente de".

Esos tipos de definición implícita dan una caracterización satisfactoria del definiendum. Se tiene una especificación más ambigua de la significación en las definiciones facilitadas por un conjunto de postulados (axiomas), que son las llamadas *definiciones postulacionales* o contextuales, que se supone aplicadas a los conceptos primitivos de una teoría. La construcción de un sistema axiomático introduce sin duda los símbolos básicos y estipula las relaciones básicas entre ellos; pero difícilmente puede considerarse esa operación como una *definición* propiamente dicha, aunque sin duda lleve a cabo la mejor *dilucidación* posible de los conceptos en cuestión. De hecho, todo conjunto de axiomas puede interpretarse de diversos modos, y en cada una de estas interpretaciones, o modelos, los primitivos toman una significación peculiar, siempre que se *añadan,* explícita o implícitamente, al sistema axiomático reglas de interpretación adecuadas. Los postulados *limitan* las posibilidades de interpretación, pero no caracterizan a las nociones primitivas de una teoría de un modo no-ambiguo: no determinan pues totalmente sus significaciones. La especificación del significado de los conceptos primitivos de una teoría se hace por medio de refericiones (cf. secs. 5 y 6).

Lo que caracteriza sin ambigüedad un conjunto de axiomas –siempre que se le añadan las necesarias reglas de correspondencia, o refericiones– es el *objeto* o *concepto-clave*

de la teoría. Así, por ejemplo, la mejor manera de determinar el concepto de conjunto consiste en enunciar los axiomas de la teoría de conjuntos (p. ej., "$A \cap B = B \cap A$") y decir que todo lo que satisface dichos axiomas es un conjunto. Análogamente, el concepto de campo electromagnético puede definirse diciendo que es el correlato de ciertos enunciados legaliformes (p. ej., las ecuaciones de Maxwell), cuya significación está parcialmente especificada por un conjunto de refericiones (p. ej., " 'j' designa la intensidad de la corriente"); dicho brevemente, el concepto de campo electromagnético (no su correlato) se define como aquello que satisface una determinada teoría. Definiciones de este tipo se usan frecuentemente en la matemática. Pero si hay que usarlas en la ciencia factual debe añadirse una prevención, a saber, que la definición de un concepto mediante esta técnica no debe considerarse como descripción del correlato del concepto. Y aún otra cautela debe tomarse, a saber: que ninguna teoría factual puede suministrar más que una definición temporal y contextual (parcial, por tanto) de su concepto-clave; un cambio de la teoría puede suponer una modificación de dicho concepto. Esta situación no tiene paralelismo exacto en la ciencia formal, pues en ésta el objeto de la investigación coincide con su concepto-clave.

Podemos atender ahora a ciertos importantes equívocos relativos a la naturaleza y la función de la definición en la ciencia. El primero es la creencia en que no debería empezarse ninguna investigación antes de tenerse definido su objeto. Según esto, por ejemplo, una investigación sobre las costumbres de los sinsontes por lo que hace a los hábitos de nidación debería empezar con las definiciones de "sinsonte", "hábito" y "nido", porque –tal es el sentido de esa tesis– en otro caso no sabríamos de qué estamos hablando. Esta exigencia es, naturalmente, absurda, ya por la mera circunstancia de que (*i*) no podemos definir los términos más importantes, a saber, los que funcionan como sillares básicos (los conceptos primitivos), y (*ii*) muchas veces partimos con conceptos vagos que se dilucidan gradualmente a través de la investigación misma, y esto no podría ocurrir si el lenguaje de la ciencia tuviera que estar listo desde el primer momento. Lo que seguramente pensaban los sostenedores de la regla criticada es que el objeto de la investigación tiene que *identificarse* desde el comienzo. Y es claro que si se pide a uno que nunca ha visto a un sinsonte (que es el pájaro también llamado arrendajo) que estudie sus hábitos de nidación, no será capaz de conseguir mucha información segura. Pero la identificación no tiene por qué basarse en la definición: puede practicarse la identificación con la ayuda de descripciones y de pruebas empíricas.

Otro error muy difundido consiste en pensar que *cualquier ecuación* puede servir para definir a uno de los miembros de la fórmula. El siguiente contraejemplo mostrará que esto no es así: "$3 = \sqrt{9}$ " no se aceptará como definición de "3", ni tampoco lo será "$3 = \log_2 8$", aunque ambas ecuaciones son verdaderas. Si deseamos una definición de "3" tenemos que empezar por elegir algún sistema aritmético en el cual se presente "3", y averiguar cuáles son las nociones primitivas específicas (extralógicas) de esa teoría. Una vez identificadas dichas nociones, los símbolos definidos se introducen ordenadamente –de un modo, sin embargo, que puede ser distinto en otra teoría. Por ejemplo, en la teoría de Peano introduciremos "3" por medio de la cadena de definiciones: "$1 =_{df} S0$", "$2 =_{df} S1$", "$3 =_{df} S2$"; pero sería posible sin inconveniente cambiar la definición, y hasta tomar a "3" como concepto primitivo. Lo mismo exactamente hay que hacer en cualquier teoría

factual axiomatizada: sólo después de enumerar los conceptos primitivos y las fórmulas primitivas (o sea, los axiomas) de la teoría podemos emprender la tarea de determinar el estatuto que un determinado concepto tiene en la teoría. Es absurdo proceder arbitrariamente, sin tener presente un contexto bien determinado, porque los estatutos de primitivo o definido son asignados por la teoría en su conjunto, no por ninguna fórmula aislada y arbitrariamente elegida de entre las de la teoría. En resolución, las ecuaciones no suministran normalmente definiciones, a menos que se trate de ecuaciones definitorias; en general, las ecuaciones no permiten más que sustituciones y cálculos. Este punto tiene la importancia suficiente como para que le concedamos una discusión más detallada.

Las magnitudes, como la velocidad y la densidad de masa, presentan problemas propios. La velocidad media puede definirse como el cociente de la distancia por el tiempo empleado (por algún objeto material) en recorrerla. O sea,

$$v =_{df} \frac{d}{t} \qquad [3.6]$$

Es claro que no podemos dividir conceptos, a menos que sean números o funciones. Lo que sometemos a operaciones aritméticas son las variables numéricas (o valores) de las magnitudes. O sea, los símbolos que se presentan en [3.6] no designan a los conceptos de velocidad media, distancia y masa, sino a sus respectivos valores numéricos. Cuando calculamos o medimos velocidades con ayuda de la fórmula [3.6] no usamos los conceptos completos que subyacen a la fórmula sino tan sólo sus componentes numéricas. El caso de la densidad es similar con una diferencia, y es que no se la define sino que se la adopta como concepto primitivo o no definido. Lo que sí se define es la masa total de un cuerpo, a saber, como la integral de la densidad puntual sobre todo el volumen ocupado por el cuerpo.

Para fines teóricos [3.6] es insuficiente: necesitamos el concepto, mucho más fuerte y básico, de velocidad instantánea. [3.6] no satisface esta necesidad porque la duración de un instante es nula, y no hay división por cero. Se utiliza por esto la definición de velocidad instantánea como la derivada de la distancia respecto del tiempo. Este concepto más general permite formar el concepto de velocidad media como concepto derivado. Cuando el movimiento es uniforme, la velocidad media coincide con la instantánea; en todos los demás casos los valores de una y otra magnitud son diferentes entre sí. Los valores medidos de las velocidades son siempre valores de velocidades medias: las velocidades instantáneas deben suponerse, u obtenerse a partir de hipótesis referentes a trayectorias. Este hecho basta para refutar la tesis operacionista según la cual todos los conceptos debieran "definirse" mediante operaciones de laboratorio tales como mediciones.

La definibilidad del concepto de velocidad media en términos del concepto de velocidad instantánea implica que el primero puede dejarse de lado para fines *teóricos*. Pero es indispensable para fines *experimentales*, así como para comparar los resultados del cálculo con los de la medición. En efecto, el experimentador no maneja instantes sino periodos. Con el concepto de densidad ocurre otro tanto: el experimentador manipula cuerpos extensos, no puntos materiales: mide densidades medias, no densidades puntuales. (Lo mismo ocurre con muchas otras magnitudes.) Los dos conceptos son pues necesarios y, además, están relacionados, tanto conceptualmente como por la operación de

medir. Esta última suministra un puente entre ambos conceptos, puesto que al medir la densidad media se obtiene una *estimación* o valor aproximado (para un volumen suficientemente pequeño) de la densidad en un punto, valor éste empíricamente inaccesible aun cuando se supone que existe. La relación entre las variables de ambos conceptos de densidad es:

Valor de la densidad del cuerpo en un punto x ≅ valor medido de la densidad del cuerpo en un volumen que contiene a x, [3.7]

donde '≅' simboliza la igualdad aproximada. Esta situación es corriente en la ciencia y en la técnica: a menudo se necesitan dos conceptos de una determinada magnitud, uno en bruto y el otro afinado, para la experiencia el primero y para la teoría el segundo.

La discusión anterior permite obtener las conclusiones siguientes. En primer lugar, *no todas las magnitudes son definibles en un contexto dado*: algunas deben tomarse como primitivas o no definidas. (Sin embargo, 'indefinido' no significa 'indeterminado' o 'impreciso'. En toda teoría bien constituida, los conceptos primitivos o no definidos se caracterizan en forma inequívoca mediante postulados.) En segundo lugar, *nunca calculamos magnitudes*: cuanto hacemos es calcular sus valores numéricos. Así, cuando calculamos la masa m a partir de la fuerza f y de la aceleración a mediante la fórmula de Newton "$m = f/a$", lo que hacemos es someter a cálculo las variables numéricas o cantidades f y a, o sea, los valores de las respectivas funciones. Ésta es una de las razones por las cuales la segunda ley newtoniana del movimiento no puede usarse para definir el concepto de masa en términos de los conceptos de fuerza y aceleración. (La otra razón es que, como puede demostrarse rigurosamente, en la mecánica de Newton el concepto de masa es primitivo.) Nuestra tercera conclusión es que, en rigor, *nunca medimos magnitudes plenas*, sino sólo sus valores numéricos. Lo que no debiera ser deplorado sino por quienes confunden el cálculo y la medición con la definición.

El tercer error que debemos enfrentar se refiere al modo adecuado de introducir *conceptos disposicionales,* como "visible" o "soluble" es decir, conceptos que denotan propiedades y relaciones potenciales más que actuales. La doctrina estándar al respecto es que el modo de introducir esos términos consiste en usar un enunciado bilateral de "reducción" de la forma que es característica de las definiciones condicionales, o sea: "$C \rightarrow (A \leftrightarrow B)$", o, en el caso de que A, B y C sean, los tres, predicados monádicos referentes a la misma variable individual x,

$$(x)[C(x) \rightarrow (A(x) \leftrightarrow B(x))] \quad [3.8]$$

La interpretación operacionista de esta fórmula es del siguiente tenor: "Para todo x, si x está sometido a la condición experimental C (por ejemplo, sumergido en agua), entonces se atribuye a x el atributo A (p. ej., solubilidad) si y sólo si x presenta el comportamiento B (p. ej., se disuelve)". El motivo de esta propuesta sobre la introducción de términos disposicionales es la receta empirista de que todos los predicados deben introducirse por referencia a procedimientos empíricos. Enunciados como [3.8] producirían la "reducción" del nuevo concepto introducido, A, a los predicados observacionales B y C.

Ése es un buen ejemplo de problema artificial, típico de filosofías de la ciencia que no se fijan de verdad en la ciencia real. Es un problema artificial porque los científicos no suelen perder el tiempo con la quimera de reducir términos teóricos a términos preteóricos, y porque eluden la tarea de afinar directamente términos cualitativos como 'soluble'. Lo que hacen, en vez de eso, es construir conceptos teóricos cuantitativos, como "grado de solubilidad" (o de "acidez", "conductividad", "permeabilidad", etc.). Los correspondientes conceptos cualitativos se definen luego –si se definen– a base de los conceptos cuantitativos y más fuertes. En el caso de la solubilidad puede efectivamente establecerse la siguiente cadena de definiciones:

(1) *Solubilidad* (de la sustancia x en el disolvente y a la temperatura y presión p) $=_{df}$ *concentración* (de x en una solución saturada de y a t y p).
(2) x es *soluble* (en y_0, a t_0 y p_0) $=_{df}$ [*Solubilidad* (de x en y_0 a t_0 p_0) $> s_0$].

En esta última definición el subíndice '$_0$' indica un valor particular –o, más precisamente, un intervalo– de la variable numérica a la que afecta; en particular, 's_0' es un valor convencional del grado de solubilidad. La magnitud "concentración" que aparece en la primera definición, se dilucida a su vez de un modo particular mediante la definición explícita.

Cosa parecida ocurre con todos los conceptos de disposición que no se toman como primitivos. Por ejemplo, en la teoría del magnetismo el concepto de disposición "magnético" se introduce a base de la permeabilidad absoluta, cuya variable numérica se define a su vez por: "$\mu =_{df} B/H$", siendo B y H nociones primitivas de la teoría de Maxwell. Una vez definida de ese modo la variable numérica de la permeabilidad, el concepto de disposición "magnético" se define a su vez del modo siguiente: "x es magnético $\leftrightarrow$ la permeabilidad de x es mucho mayor que la unidad". Aquí también todos los términos definientes son cuantitativos.

De todo lo que hemos visto se desprenden las siguientes lecciones. En primer lugar, que en vez de intentar laboriosamente afinar conceptos cualitativos, los científicos pueden preferir la introducción de un concepto cuantitativo más fuerte. En segundo lugar, que en vez de intentar dilucidar conceptos con referencia objetiva mediante conceptos antropocéntricos (como "condición experimental C" y "comportamiento observado B"), según la exigencia de ciertos filósofos, los científicos intentan construir dilucidaciones con la ayuda de conceptos que refieren a objetos físicos. Tercero, que el proceso de precisión de los conceptos no siempre va de lo cualitativo a lo relacional y lo cuantitativo, sino que puede también invertirse. Cuarto, que algunos conceptos de cualidades de disposición, o potencialidades, como la solubilidad, pueden reducirse a cualidades actuales, como concentración. Quinto, que la dilucidación de conceptos no se realiza en un vacío teorético: en la ciencia, las definiciones presuponen o implican leyes, y se construyen en el seno de sistemas.

No puede, pues, sorprender que las definiciones sufran el destino de las teorías y, en general, del conocimiento. La historia de las ideas científicas debería ser instructiva en este respecto, especialmente para los que creen que la definición es completamente arbi-

traria. Tomemos, por ejemplo, el concepto de ácido. Boyle había identificado (no definido) ácidos mediante un conjunto de reacciones: tenía *contrastaciones empíricas* y, por tanto, *criterios* de acidez, pero, como carecía de una teoría que explicara la constitución y la función de los ácidos, no pudo ofrecer ninguna definición teórica de "ácido". (Aunque, de todos modos, supo al menos no confundir sus pruebas o contrastaciones de acidez con "definiciones operacionales" de la acidez.) Lavoisier y otros, un siglo después de Boyle, intentarán aferrar la esencia de la acidez por el procedimiento de hallar algún constituyente elemental de todos los ácidos, pero fracasaron en el intento. Luego se abandonó el punto de vista sustancialista y se le sustituyó por el funcional: entonces pudo definirse "ácido" como aquello que se descompone en solución acuosa y da iones hidrógeno con carga positiva. Por último se afinó esa definición introduciendo un concepto cuantitativo de acidez que se basa en tres enunciados legaliformes. *Primera ley: "Todas las fórmulas de ácidos son de la forma HA". Segunda ley: "Todos los ácidos se descomponen en la forma: "$HA = A^- + H^+$". Tercera ley: "En equilibrio, es constante la razón de concentración, o sea $[H^+] \cdot [A^-] / [HA]$". El valor de esa constante, llamado K_{HA}, se toma como grado de acidez: los ácidos fuertes se caracterizan por un valor alto de esa constante. Sobre la base de la anterior definición pueden elaborarse pruebas o contrastaciones de acidez que son universales y cuantitativas: la acción está ya guiada y explicada por la teoría.*

La definición de conceptos científicos no es pues siempre una tarea puramente lingüística, sino que a menudo supone teoría e información empírica, de tal modo que los cambios en una u otra pueden obligar a cambiar definiciones. Consiguientemente, las definiciones no tienen que ser sólo *formalmente correctas,* sino, además, *materialmente adecuadas,* tanto en el sentido epistemológico de que debe ser correcto sustancialmente el conocimiento que presuponen o contienen cuanto en el sentido pragmático de que las definiciones concuerden, al menos a grandes rasgos, con el uso efectivo del especialista (no necesariamente con el uso ordinario). Si tal es la situación, la lógica sola no puede pretender enunciar la naturaleza y la función de la definición en la ciencia: la cuestión tiene también aspectos epistemológicos e históricos.

En la sección siguiente discutiremos la función de la definición en la ciencia, luego de aclarar algunos problemas lógicos y semánticos un tanto delicados.

Problemas

3.3.1. Precisar el definiendum y el tipo de definición de los ejemplos siguientes:

1. $p \rightarrow q =_{df} -(p \,\&\, -q)$
2. $(x = \log_b y) \leftrightarrow (y = b^x)$
3. $x \neq 0 \rightarrow x^0 =_{df} 1$
4. $(0! = 1) \,\&\, [(n+1)! = (n+1) \,.\, n!]$
5. $B =$ sen A, con B dado.
6. Algo es un grupo si y sólo si satisface los axiomas siguientes. [Una lista de postulados de la teoría de grupos.]
7. Un género es la suma lógica de sus especies.

8. El término 'caliente' es sinónimo de la expresión 'que tiene una temperatura alta, comparada con la del cuerpo humano'.
9. Los organismos más aptos son los mejores adaptados a su ambiente.
10. "El conocimiento es opinión verdadera" (Platón).

3.3.2. Analizar las definiciones siguientes:

1. Un instante es la frontera entre dos intervalos de tiempo o momentos.
2. $0 =_{df} (\iota\, y)\, [(x)\, (x + y = x)]$.
3. "La sensación es la percepción de cosas primeras" (W. James).
4. "La significación de un término es su uso" (L. Wittgenstein).
5. "La inteligencia es eso que miden las pruebas de inteligencia" (varios psicólogos operativistas).

3.3.3. Analizar las expresiones, frecuentes en la literatura científica, 'La función f, definida por $f(x) = y$', y 'Definimos la posición de la partícula por medio de una medición de posición'. *Problema en lugar del anterior*: Considerar una serie infinita cuyos términos particulares, a_n, son desconocidos, de tal modo que sólo se sabe la razón de dos términos sucesivos. Supóngase, además, que esa razón es constante, o sea, independiente de n: $a_{n+1}/a_n = c$. Precisar qué tipo de definición suministra esa igualdad, y mostrar que basta para determinar la suma de la serie (salvo el término inicial a_1 que queda sin determinar).

3.3.4. Los pintores y los filósofos del arte han discutido acerca de si el blanco y el negro son colores. Análogamente, en el pasado, discutieron los matemáticos acerca de si 0, $\sqrt{2}$ y $\sqrt{-1}$ son números. Proponer un camino para superar esas discusiones. *Problema en lugar del anterior*: Se han arbitrado agudos experimentos para averiguar si el aprendizaje de temas conceptuales supone a la vez comprensión y recuerdo. ¿Eran necesarios esos experimentos?

3.3.5. Exponer el primer tratamiento moderno de la definición, que es el breve tratado de Pascal "De l'esprit géometrique" [1657?], en *Oeuvres complètes*, París, Éditions du Seuil, 1963. En ese escrito muestra Pascal la necesidad de nociones primitivas, y critica las "definiciones reales" porque no son libres (convencionales), sino discutibles: "las definiciones se dan sólo para indicar las cosas que se nombran, no para mostrar su naturaleza" (p. 350). *Problema en lugar del anterior*: Exponer las ideas sobre la definición formuladas por W. Whewell en el *Novum Organum Renovatum*, 3a. ed., Londres, Parker, 1858, pp. 30-40, donde sostiene que muchas controversias de la historia de la ciencia han sido batallas sobre definiciones, pero que "esas controversias no han sido nunca cuestiones de definiciones aisladas y *arbitrarias*, como tantas veces se tiene la tentación de creer" (p. 36). "Cuando se nos propone una definición como un útil paso del conocimiento, tenemos siempre derecho a preguntar cuál es el Principio que enuncia" (p. 37).

3.3.6. Examinar las siguientes opiniones sobre la segunda ley newtoniana del movimiento, "$f = ma$". (*i*) La ley puede considerarse como una definición de "fuerza" a base de "masa" y "aceleración". (*ii*) La ley puede considerarse como una definición de "masa". (*iii*) La ley puede entenderse como la fuente de una "definición operativa" de la masa relativa a base de la aceleración relativa en el caso de un par de cuerpos que están en interacción con la misma fuerza, puesto que en este caso la tercera ley de Newton dice que $f_1 = -f_2$, y, por tanto, por la segunda ley, $m_1 a_1 = -m_2 a_2$, de lo que se sigue que $m_1/m_2 = -a_1/a_2$. Véase M. Bunge, *Controversias en física*, Madrid, Tecnos, 1982.

3.3.7. Hallar una definición satisfactoria de "especie biológica" que pueda usarse como criterio de identificación inequívoca de individuos biológicos.

3.3.8. En una primera aproximación, el punto de fusión de una sustancia puede definirse como la temperatura a la cual se funde: con esto, el concepto cuantitativo de punto de fusión depende del concepto teorético de temperatura y del concepto observacional de fusión. ¿Presupone esa definición alguna ley? ¿Y qué puede decirse del hecho de que algunas sustancias no tienen un

punto de fusión bien determinado, sino que se funden en intervalos de temperatura que pueden llegar a los cinco grados? ¿Deberíamos cambiar la definición de "punto de fusión", o podemos sustituir ese concepto algo vago por otro más fuerte?

3.3.9. Examinar las llamadas *definiciones denotativas,* que consisten en nombrar algunos o todos los miembros de la extensión de un concepto, como en el ejemplo "Frege y Russell son lógicos". Admitiendo que la ejemplificación, o la enumeración completa si es posible, son procedimientos de especificación de significaciones, ¿pueden considerarse definiciones? ¿Y qué condiciones tiene que cumplir una caracterización denotativa para ser exhaustiva? *Problema en lugar del anterior*: K. Menger ha propuesto definir "longitud en pulgadas", o "l_{pu}", como la clase de todos los pares $\langle x, l_{pu}(x) \rangle$. Véase, por ejemplo, F. Henmueller y K. Menger, "What is Length?", *Philosophy of Science, 28,* 172, 1961. Teniendo en cuenta que el dominio C de la función "l_{pu}" así definida es el conjunto de todos los cuerpos, y que el campo de valores R^+ de la función es el conjunto de todos los números reales no negativos, podemos reformular esa definición así: "$l_{pu} = C \times R^+$". ¿Es este análisis una definición? O sea: ¿especifica inequívocamente esa fórmula la significación de "l_{pu}", o se limita más bien a determinar su extensión total? En general: ¿son definiciones las caracterizaciones denotativas (extensionales) de magnitudes, por exhaustivas que sean? Indicación: recordar la definición de "definición", y ver si hay exactamente una propiedad común a todos los miembros del conjunto $C \times R^+$.

3.3.10. Estudiar la relación entre definiciones y criterios, primero en la ciencia formal (por ejemplo, criterios de convergencia), y luego en la ciencia factual (por ejemplo, criterios de estabilidad). *Problema en lugar del anterior*: ¿Puede dilucidarse toda cualidad de disposición a base de cualidades actuales, invirtiendo así el primado aristotélico de la potencialidad sobre la actualidad?

3.4. *PROBLEMAS DE LA DEFINICIÓN

Consideremos ahora algunos problemas referentes a la definición. Preguntémonos, en primer lugar, qué propiedades caracterizan a una buena definición. En las anteriores secciones hemos mencionado algunas de esas propiedades, pero ahora las contemplaremos desde otro punto de vista.

Una primera exigencia formal es que la definición sea *consistente,* internamente (autoconsistente) y con el cuerpo en que se presenta. Es claro que una contradicción puede introducirse fácilmente en una definición; en una equivalencia como "$A \leftrightarrow (B \,\&\, C)$", C puede ser inconsistente con B, y entonces A será falso para todo valor veritativo de B. Por ejemplo, un filósofo arcaico puede persistir en su deseo de definir 'se mueve' por 'está en reposo y no está en reposo'. Tan claro como eso es que una definición puede, sin que se vea, estar en conflicto con una parte del cuerpo de conocimiento en el que se presenta. Así, en la anterior equivalencia 'B' puede ser "*c está muerto*" y 'C', "*c está* pensando". La lógica permite la conjunción de esas dos proposiciones, pero la ciencia factual la prohíbe: pensar es *factualmente inconsistente* con estar muerto. En resolución: una definición correcta es consistente interna y externamente, lógica y factualmente.

En el caso de los operadores, símbolos de operación, la consistencia formal está garantizada en parte por el carácter *unívoco* de la operación, el cual, a su vez, tiene que estar asegurado por alguna fórmula anterior en el sistema (un axioma o un teorema). Supongamos que introducimos el operador '#' en el conjunto de los números por medio de la

definición implícita: "$(x \# y = z) \leftrightarrow (x^2 = y) \& (z < y)$". Tomando $x = 2, y = 4, z = 0$, triplo que satisface el segundo miembro de la ecuación, obtenemos: 2 # 4 = 0 para el primer miembro. Pero también el triplo $x = 2, y = 4, z = 3$ satisface las equivalencias, y da: 2 # 4 = 3. Sustituyendo en el primer resultado obtenemos entonces: 0 = 3, caso de la contradicción general "$0 \neq 0$". La operación # no es unívoca.

Otra exigencia sintáctica es que la definición explícita debe establecer identidades, o equivalencias formales, de tal modo que pueda siempre *intercambiarse* el definiendum con el definiens sin perder el valor veritativo. (Las equivalencias proposicionales, o sea, enunciados de la forma "$p \leftrightarrow q$", pueden interpretarse o usarse como definiciones, aunque en sí mismas no son convenciones lingüísticas; generalmente se presentan como teoremas en alguna teoría.) Así, en la aritmética de los enteros, 'El siguiente (o sucesor) de uno' puede sustituirse en toda fórmula por 2': los dos signos designan el mismo concepto. En cambio 'Dos es un siguiente de uno' no puede usarse así, porque al ser una descripción indeterminada, no determinada, no establece una equivalencia plena.

Generalmente se enuncia una versión más fuerte de este principio de intercambiabilidad: que en toda definición definiendum y definiens deben ser libremente intercambiables no sólo sin cambio de valor veritativo (*salva veritate*), sino, además, sin alteración de la *significación*. Cuando se satisfacen esas dos condiciones –como ocurre en "$2 =_{df} 1 + 1$– la definición lleva a cabo simplemente una abreviación del discurso y supone la *eliminabilidad* del símbolo definido. Pero no es esta función pragmática lo que hace interesante a la definición: las definiciones son más valiosas cuando introducen *conceptos nuevos*, o sea, cuando acarrean cambios de significación. Considérese, por ejemplo, la definición del cociente de enteros a base de su producto, mediante "$x/y = z \leftrightarrow x = y \cdot z$": todas las ternas de tres enteros que satisfacen el miembro de la izquierda satisfacen también el de la derecha, pero en el definiendum aparece un concepto nuevo, con nuevas propiedades, que no se da en el definiens, a saber, el concepto de fracción (número racional). Consiguientemente, no impondremos a la definición la doble condición de invariancia extensional e intensional, sino sólo la primera: exigimos, pues, la intercambiabilidad en sentido extensional, no en sentido intensional. Volveremos a tratar este punto.

La contrapartida semántica de la exigencia de equivalencia extensional o intercambiabilidad es la condición de *no-creatividad*, la cual ordena que no se introduzcan nuevas hipótesis a través de definiciones. (Pero no adoptamos la versión fuerte de la condición de no-creatividad, la cual prohíbe introducir también conceptos nuevos por medio de definiciones.) Dicho de otro modo: una definición no debe aumentar el contenido de un sistema: todo el contenido de un sistema tiene que estar en sus premisas (axiomas y supuestos auxiliares, como los datos), y las definiciones tienen que limitarse a facilitar la explicación de las consecuencias lógicas de dichas premisas. Aclaremos dos malentendidos que suelen producirse a este respecto.

En primer lugar, las definiciones de una teoría se tratan, para fines de deducción, *como si* fueran premisas, con el mismo título que las hipótesis de la teoría; algunas ramas de un árbol deductivo pueden efectivamente ser definiciones: esas definiciones nos permiten en unos casos *reformular* premisas, y en otros construir *puentes* entre algunas de ellas (cf. fig. 3.4).

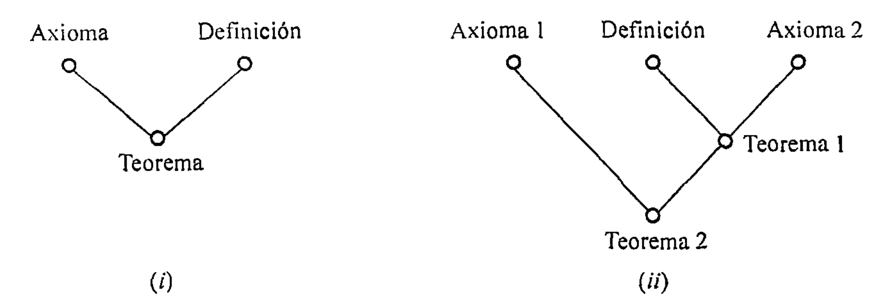


FIGURA 3.4. Una situación corriente de teoremas deducidos de supuestos anteriores más definiciones. (*i*) Reformulación. (*ii*) Puente.

Pero en todos los demás respectos las definiciones tienen su estatuto propio, inferior al de los supuestos iniciales de una teoría (axiomas).

En segundo lugar, los axiomas de una teoría contribuyen a dilucidar la significación de los conceptos básicos (primitivos) de la teoría, pero esto no quiere decir que los axiomas de una rama de la ciencia, como la mecánica, no sean más que *definiciones disfrazadas*, como sostiene el convencionalismo. Si así fuera, los axiomas no podrían entrar en contradicción con la experiencia, ni tendría interés el intentar corregirlos y mejorarlos, y la historia de la ciencia, en una palabra, se parecería mucho al shakesperiano sueño de un idiota. Por lo demás, *toda* fórmula puede usarse para especificar parcialmente la significación de algunos de los términos que se presentan en ella, pero lo decisivo es que no toda especificación de significación es ya una definición. Así, el enunciado singular "Éste es un libro de metaciencia" puede usarse para especificar la significación de 'metaciencia', pero no es una definición, puesto que no establece una equivalencia entre signos (el enunciado es una referición). Dicho brevemente: los postulados y las definiciones no son intercambiables, pero un postulado extralógico hace algo más que dar información acerca del mundo: también iluminará un tanto la significación de los términos que se presentan en la sentencia que lo expresa.

W. V. O. Quine y N. Goodman han propuesto un ingenioso expediente por el cual las proposiciones sintéticas (o sea, los axiomas de una teoría factual) pueden aparentemente eliminarse en favor de definiciones. Supongamos que tenemos una teoría sobre flujos o el fluir del calor. Esa teoría contiene una primitiva extralógica "F" que tiene la estructura de una relación diádica. La significación de 'F' puede especificarse del modo siguiente: si dos objetos cualesquiera, x e y, están en la relación F –o sea, si vale $F(x, y)$–, entonces fluye calor de x a y, y si vale $-F(x, y)$, entonces no fluye calor de x a y. Postulemos ahora que hay pares de cuerpos tales que entre ellos no fluye calor:

$$(\exists x)\,(\exists y)\,[-F(x,y)\ \&\ -F(y,x)] \qquad \textit{Postulado de existencia} \qquad [3.9]$$

Este axioma garantiza que existe cierto conjunto no vacío, a saber, el conjunto de los pares de cuerpos entre los cuales no fluye calor. Este supuesto fundamenta o justifica la introducción del concepto de equilibrio térmico, designado por el predicado diádico 'E':

$$E(x,y) =_{\text{df}} - F(x,y) \ \& \ - F(y,x) \qquad \textit{Definición} \qquad [3.10]$$

Ahora *finjamos* olvidar el postulado de existencia [3.9] e iniciemos el siguiente razonamiento. En vez de considerar a *"F"* como noción primitiva, arrancamos de "*E*". Luego postulamos que *E* es simétrico, es decir, afirmamos la ley siguiente:

$$(x)\ (y)\ [E(x,y) \rightarrow E(x,y)] \qquad \textit{Ley} \qquad [3.11]$$

Por último, observamos que este postulado es redundante: efectivamente, la simetría de *E* se sigue de la definición [3.10], como puede verse fácilmente intercambiando *x* e *y* en ella y recordando que la conjunción es conmutativa. A primera vista concluimos, pues, que la ley [3.11] puede sustituirse por la definición [3.10], y que las correspondientes técnicas de contrastación empírica pueden sustituirse por operaciones con papel y lápiz Con paciencia podríamos así reformular el conjunto de la ciencia factual como un conjunto de definiciones.

Si esa argumentación no tuviera fallos, se violaría el principio de no-creatividad y, cosa más importante, se podría reconstruir la ciencia factual de tal modo que no se necesitarían ya contrastaciones empíricas: bastaría con comprobar en cada caso la corrección lógica. Y como esta consecuencia parece muy inverosímil, pensamos que algo debe fallar en aquel procedimiento. ¿Qué es lo que falla? Simplemente, que [3.11], separado de las consideraciones anteriores, no es una ley física, sino una fórmula vacía; sólo un postulado de existencia que garantice que el concepto "*E*" tiene un correlato real (una extensión no vacía) puede hacer de [3.11] un postulado extralógico. Un tal postulado de existencia podría ser "$(\exists x)\ (\exists y)\ E(x, y)$", o, aún más brevemente, "$E \neq \varnothing$", el cual, en virtud de la definición [3.10], equivale al postulado [3.11]. (En la sec. 6.4 mostraremos que a toda fórmula universal hay que añadir un postulado de existencia para conseguir una ley universal.) Inferiremos de esto, en primer lugar, que las generalizaciones *aisladas*, no fundamentadas por enunciados existenciales (explícitos o tácitos), pueden sustituirse por definiciones, pero que tales enunciados no son postulados extralógicos (leyes, por ejemplo) en sentido propio. En segundo lugar, que ningún término debe introducirse *arbitrariamente* en la ciencia, ni como símbolo primitivo ni como símbolo definido: el término debe cumplir una útil función sintáctica o tener una denotación posible, es decir, un correlato real posible. (Como es natural, esta exigencia no se aplica a juegos lingüísticos.)

Otra exigencia semántica es que la connotación (intensión) del término definido debe casar con su denotación (extensión). Por ejemplo, si se establece una definición de "espíritu", no debe ser aplicable a ostras ni a calculadoras, porque ni unas ni otras tienen funciones mentales. No es éste un punto de uso o convención, sino de teoría: si nos negamos a atribuir espíritu a las ostras y a las calculadoras no es a causa de una costumbre lingüística, no es por razones pragmáticas, sino porque las ostras y las calculadoras carecen del órgano de las funciones mentales, el cerebro. Y esta observación roza ya la próxima exigencia.

Una tercera exigencia semántica se refiere a las definiciones que amplían la significación de un término ya en uso: el concepto generalizado debe reducirse al más estrecho

cuando se está en el campo propio de éste. Por ejemplo, si se definen "temperatura" y "entropía" para estados que no son de equilibrio, esos conceptos ampliados tienen que coincidir con los de temperatura y entropía para estados de equilibrio. La exigencia que consideramos es una especie de principio de correspondencia para conceptos, y regula su generalización. (Para el concepto de generalidad de un concepto, cf. sec. 2.3.) Con esto basta por lo que hace a exigencias semánticas puestas a la definición.

Un importante requisito pragmático es la exigencia de que la definición sea fecunda, ya porque ahorre tiempo (fecundidad práctica), ya porque establezca relaciones entre conceptos y contribuya así a la sistematicidad (fecundidad teorética). Supongamos, por ejemplo, que en vez de las definiciones (implícitas) de las funciones trigonométricas básicas –"sen $\theta =_{df} y/r$" y "cos $\theta =_{df} x/r$"– propusiéramos algunos de los siguientes pares:

$$\begin{array}{ll} \text{sen } \theta =_{df} 2^{-1/2}(x \pm y) & \text{sen } \theta =_{df} 2^{-1/2}(x \pm iy) \\ \cos \theta =_{df} 2^{-1/2}(x \mp y) & \cos \theta =_{df} 2^{-1/2}(x \mp iy) \end{array} \qquad [3.12]$$

con $i = \sqrt{-1}$. Los cuatro pares de definiciones satisfacen las condiciones formales de consistencia, intercambiabilidad y no-creatividad. Además son consistentes con el teorema de Pitágoras, "$x^2 + y^2 = r^2$", supremo principio de la trigonometría plana. Por último, son fecundos en un sentido trivial: dan origen a cierto número de teoremas análogos a los de la trigonometría plana corriente: Pero las cuatro nuevas teorías formadas con las nuevas definiciones y el teorema de Pitágoras, aunque formalmente correctas e isomórficas con la teoría corriente, dejarán de alcanzar el objetivo interesante de esta última, que consiste en relacionar y calcular ángulos a base de los lados de triángulos rectángulos.

Otro ejemplo: supongamos que unos físicos han decidido dar un nombre especial a la expresión '$m^5v^{3/7}$'. Su decisión no estaría justificada, porque esa expresión no desempeña papel alguno en ninguna teoría fundamental, aunque acaso se presente en alguna aplicación. En cambio, tienen nombres especiales los conceptos de momento lineal, "mv", y de energía cinética, "1/2 mv^2": éstos son conceptos fecundos, y por eso lo son también las correspondientes definiciones. Son fecundos porque se presentan en enunciados legaliformes de teorías fundamentales y denotan propiedades físicas. La ciencia no da uso alguno a un símbolo que no realice ninguna función sintáctica ni designe una propiedad. En sustancia: las definiciones no se construyen por capricho, sino para hacer frente a determinadas necesidades teóricas o prácticas.*

Establezcamos, por último, una condición que tiene alcance ontológico y metodológico, a saber: siempre que sea posible, debe *definirse lo superior por lo inferior o igual*. Ejemplo: no se deben definir conceptos físicos a base de conceptos fisiológicos o psicológicos. Consideremos la siguiente definición de "gas": "Un cuerpo es un gas [o es gaseoso] si y sólo si no afecta a nuestro sentido del tacto ni a nuestra percepción muscular, pero puede ser percibido inhalándolo en ausencia de aire". Esta definición es formalmente correcta y didácticamente útil, pero no es aceptable en física, porque es antropocéntrica: reduce una propiedad de nivel bajo a un conjunto de propiedades de alto nivel (cualidades sensibles o secundarias). Desde el principio mismo de la época moderna ha sido una condición tácita de las definiciones científicas la de que el estatuto ontológico del definiens

sea más bajo o igual que el del definiendum. Esta exigencia tiene un sustrato naturalista, lo que muestra una vez más que en la ciencia las definiciones no son siempre puras convenciones lingüísticas, y que la ciencia no es filosóficamente neutra.

Este último requisito no se refiere al estatuto epistemológico de los términos relacionados por la definición. El definiens no tiene por qué ser más inmediato, menos abstracto epistemológicamente que el definiendum. El definiens debe estar más cerca de la experiencia o del conocimiento común que el definiendum sólo en el caso de que la definición se formule con fines predominantemente didácticos, es decir, cuando se usa principalmente como *explicación de la significación.* (Y la atención exclusiva a esta función psicológica de la definición es una fuente de equívocos.) Pero cuando "agua" se define como la sustancia cuya fórmula de composición es "H_2O", desde el punto de vista epistemológico se está definiendo un concepto de bajo nivel por términos de nivel alto. Las definiciones nos permiten unas veces subir por la escala de la abstracción, y otras veces bajar por ella. Esto muestra que, aunque el definiendum es lógicamente equivalente al definiens, no es necesario que haya equivalencia epistemológica entre ambos. Según esto, la intercambiabilidad de definiendum y definiens (exigencia sintáctica) no implica la *eliminabilidad* del símbolo definido: ambos términos pueden ser necesarios para fines distintos.

Necesitamos el término 'agua' para tratar con la experiencia, y necesitamos el término 'sustancia cuya fórmula de composición es "H_2O"' para entender la experiencia; y necesitamos la equivalencia establecida por la definición para vincular la teoría con la experiencia. Por otra parte, el enunciado "El agua es la sustancia cuya fórmula de composición es 'H_2O'" puede considerarse ya como una definición nominal, ya como una "definición real", o sea, como una caracterización: en el primer caso "agua" (el concepto) es el verdadero tema, mientras que en el segundo caso lo es la sustancia agua. La proposición puede entenderse como equivalencia entre dos conceptos o como una hipótesis que podría ser falsa –y que sin duda habría sido considerada falsa en los comienzos de la química moderna, cuando se creía que la fórmula del agua era "HO". En general, la real naturaleza de un enunciado no depende sólo de su estructura y de su correlato, sino también de la función que realiza, y ésta depende a su vez de los objetivos del que lo usa.

Consideremos el concepto de momento lineal, introducido en la mecánica newtoniana mediante la definición explícita: "$p =_{df} mv$". Sintácticamente, 'p' puede intercambiarse siempre con 'mv' (mientras nos limitemos a coordenadas cartesianas). Pero 'p' no puede *eliminarse,* porque tiene su propia significación: se presenta por sí mismo en la ley de conservación del momento lineal, y en algunos casos el valor numérico de p puede medirse directamente, o sea, independientemente de mediciones de masa y de velocidad; así ocurre, por ejemplo, en el caso de una partícula cargada en un campo magnético. Necesitamos los tres conceptos, "m", "v" y "p", cada uno por derecho propio, porque refieren a distintas propiedades de sistemas físicos. Así, por último, lo confirma el hecho de que, en teorías más generales, aparece un concepto nuevo y más general de momento lineal, que se introduce independientemente de v.

Da, pues, lugar a una mala comprensión de la definición el interpretar la *intercambiabilidad* de conceptos como *eliminabilidad* de su mitad al menos. En realidad, todo el sentido de la definición es introducir *símbolos nuevos* (los cuales a veces designan conceptos

nuevos) de tal modo que no se produzcan *fórmulas nuevas* (de acuerdo con el principio de no-creatividad). Así podemos siempre intercambiar las fórmulas "$x - y = z$" y "$x = y + z$", y efectivamente usamos esa equivalencia para definir (implícitamente) la sustracción a base de la adición. Pero la equivalencia formal de los enunciados no anula la introducción del *nuevo concepto* de número negativo –y ésta es la razón por la cual nos molestamos en formular la definición, es decir, para introducir formalmente ese nuevo concepto. Los números negativos no son eliminables simplemente porque sean definibles mediante números positivos, sino que enriquecen sustancialmente la clase de los números, primero por su propia presencia, y luego permitiendo llegar (junto con la operación de raíz cuadrada) a los números imaginarios. Lo único de que se puede prescindir teoréticamente (no pragmáticamente) es de la *operación* sustracción. Una vez introducido un concepto nuevo, como concepto primitivo o por medio de una definición, puede adquirir "vida" propia y puede abrir toda una nueva rama de la investigación.

Ahora podemos ya precisar el lugar de la definición en la ciencia. Las definiciones no son ni tan importantes como antes se creía ni meras trivialidades, como sostiene la doctrina de la eliminabilidad. Las funciones de la definición en la ciencia parecen ser principalmente:

(*i*) *Formación* (*introducción*) *de signos nuevos*. Esto puede hacerse principalmente con el objeto de abreviar o simplificar expresiones, como cuando '&' se usa a título de abreviatura de 'y', especialmente en lenguas en las que esta copulativa es una palabra más larga; o como cuando '↔' se usa, para abreviar 'si y sólo si'. La economía notacional que se consigue de este modo nos permite captar mejor los conceptos complejos como unidades; piénsese, por ejemplo, en la ventaja psicológica que supone poder trabajar con '$P_n(x)$' en vez de con '$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_0$'.

(*ii*) *Introducción formal de conceptos nuevos* sobre la base de conceptos viejos. Piénsese en la infinidad de conceptos engendrados por los dos únicos conceptos básicos (primitivos) "cero" y "siguiente" (o bien "cero" y "+ 1").

(*iii*) *Especificación de significaciones*: definir es un modo de determinar la significación de términos que pueden haberse usado ya antes presistemáticamente. No es el único procedimiento, ni siquiera el mejor, si se le compara con la construcción de una entera teoría que contenga dicho concepto aclarado; pero es un procedimiento eficaz.

(*iv*) *Interrelación de conceptos*: vinculando conceptos, la definición contribuye a la organización o sistematización del conocimiento.

(*v*) *Identificación de objetos*: junto con las descripciones (especialmente las "definiciones reales"), las definiciones suministran criterios para identificar objetos. Así, para averiguar si un número dado es múltiplo de 7, lo dividimos por 7 y vemos si resulta un entero, usando así la definición de 'múltiplo de 7'.

(*vi*) *Higiene lógica*: la ambigüedad y la vaguedad pueden reducirse si se definen los términos. Pero, como es natural, las definiciones no pueden eliminar la ambigüedad y vaguedad que esté ya en los símbolos primitivos.

(*vii*) *Simbolización precisa* de ciertos conceptos y, consiguientemente, análisis exacto de los mismos. Las definiciones pueden usarse para simbolizar conceptos huidizos, como el de existencia formal. Así podemos decir que *x existe formalmente en el sistema S* (lenguaje o cuerpo de conocimiento) si y sólo si x es primitivo (símbolo o fórmula) en S o x satisface una definición $D(x, S)$ en S:

$$x \text{ existe en } S =_{df} x \text{ es primitivo en } S \vee D(x, S) \quad [3.13]$$

En esa fórmula hemos utilizado la idea de que la *definibilidad es relativa* a un sistema o contexto, más que inherente al definiendum. Las nociones primitivas de un sistema son indefinibles en él, pero pueden ser definidas en otros sistemas. Esta obvia trivialidad ha sido negada por filósofos como G. E. Moore, los cuales sostienen que hay términos absolutamente indefinibles, a saber, los que designan aspectos de la experiencia inmediata, como 'amarillo' y 'bueno'. La tendencia teórica que subyace a esa actitud es el sueño de construir el mundo a partir de primitivas experienciales. En otros lugares mostramos que esto no es más que una pesadilla (secs. 2.6, 3.7, 5.4, 8.1, 8.5, etc.); la tesis de la indefinibilidad absoluta es errónea, y precisamente respecto de la amarillez y bondad, como puede verse por el hecho de que esos conceptos pueden ser definidos en contextos distintos del conocimiento ordinario. Por ejemplo, 'amarillo' puede definirse en óptica fisiológica como el predicado que designa la sensación producida en el ojo humano por ondas electromagnéticas de una determinada longitud; y 'bueno' puede definirse, en el contexto de la teoría del valor, como lo estimado positivamente. Lo cierto es (*i*) que esos términos son primitivos en el lenguaje ordinario, y (*ii*) que una definición de 'amarillo' no será de ninguna utilidad al que sea ciego para los colores, porque no por ella conseguirá tener la experiencia del amarillo, del mismo modo que la definición de 'bueno' no servirá para nada al que sea ciego para los valores, caso de existir tales individuos. Las definiciones no pueden sustituir a la experiencia, ni suministran nuevo conocimiento (como no sea psicológicamente); pero tampoco lo pretenden, aunque contienen cierta experiencia y alguna consciencia de dicha experiencia. Proclamar la indefinibilidad absoluta de determinados términos, o sea, la imposibilidad de definirlos en ningún contexto, es mero dogmatismo. La definibilidad es relativa al contexto, y la indefinibilidad tiene que *probarse* antes de proclamarse; por lo demás, puede efectivamente probarse mediante la técnica de Padoa para demostrar la independencia de los conceptos (cf. sec. 7.6).

Con esto termina nuestro estudio de la definición; nuestra inmediata tarea es ahora el estudio de la interpretación y de los procedimiento de interpretación, que son las refericiones.

Problemas

3.4.1. Completar con ayuda de manuales de lógica la lista de condiciones de la definición correcta establecida en el texto, y justificar dichas condiciones.

3.4.2. Examinar la regla "Empiécese todo discurso con la definición de los términos-clave", o la regla más débil "No dejar sin definir ningún término básico".

3.4.3. Examinar las llamadas definiciones reales, o sea, caracterizaciones de objetos mediante la enumeración de cierto número de propiedades suyas. ¿Son definiciones? ¿Y suministran la esencia del objeto al que se refieren, como creía Aristóteles?

3.4.4. Analizar las "definiciones" por condiciones necesarias y las "definiciones" por condiciones suficientes, con especial referencia a "viviente" (enfrentado con "inerte") y a "hombre" (enfrentado con "autómata"). ¿Satisfacen la exigencia de intercambiabilidad? Aplicar el resultado de ese ejercicio a un análisis del siguiente enunciado del biólogo G. Wald en "Innovation in

Biology", *Scientific American, 199*, núm. 3, 1958, p. 113: "Hace mucho tiempo que se convenció la biología de que no es útil definir la vida. Lo malo de esas definiciones es que siempre puede construirse un modelo que satisface la definición y que, sin embargo, no es un ser vivo."

3.4.5. ¿Afectan las definiciones a signos o a conceptos? *Problema en lugar del anterior*: ¿Son las definiciones nominales pragmáticamente arbitrarias (por ejemplo, inmotivadas)?

3.4.6. Examinar la doctrina según la cual una definición es una convención puramente lingüística que no presupone ni contiene conocimiento y cuya única función es contribuir a la claridad y precisión del lenguaje y a la economía del discurso. Explorar el origen de esta doctrina hasta el *De Corpore* (1655), de T. Hobbes, y averiguar si era superior a su contraria, la doctrina aristotélica.

3.4.7. A menudo se considera que la sinonimia es reducible a la definibilidad. O sea: a menudo se afirma la equivalencia "*x* es sinónimo de *y* si y sólo si *x* es definible por *y* o *y* es definible por *x*". ¿Es esto coherente con la idea de que "sinonimia" es un concepto semántico, mientras que "definibilidad" es un concepto sintáctico? *Problema en lugar del anterior*: ¿Son las equivalencias definiciones? ¿O subyacen meramente a algunas definiciones?

3.4.8. Examinar la doctrina convencionalista de que los axiomas de la física son definiciones disfrazadas, y, por tanto, convencionales y empíricamente incontrastables. Cf. H. Poincaré, *La science et l'hypothèse*, cap. VI; L. Le Roy, "Un positivisme nouveau", *Revue de méthaphysique et de morale*, *9*, 143, 1901, y P. Duhem, *The Aim and structure of Physical Theory* [original francés, 1914], Nueva York, Atheneum, 1963, pp. 208ss. *Problema en lugar del anterior*: Examinar W. V. O. Quine y N. Goodman, "Elimination of Extra-Logical Postulates", *Journal of Symbolic Logic*, *5*, 104, 1940, y W. V. O. Quine, "Implicit Definition Sustained", *Journal of Philosophy*, LXI, 71, 1964.

3.4.9. La ley de Ohm, "$e = Ri$", vale aproximadamente para un circuito metálico alimentado por pilas y a temperaturas ordinarias. En esa fórmula, R es una constante característica de cada clase de conductor, y se llama la resistencia eléctrica del material. La definición corriente de "R" se hace precisamente por medio de la ley de Ohm, o sea, así: "$R =_{df} e/i$". Recuérdese que en esta última fórmula 'R' no tiene más papel que el de ser una abreviatura de 'e/i'. ¿Por qué interpretamos el signo 'R' como signo que denota la propiedad física de resistencia? ¿Está suministrada esa interpretación por la definición? ¿Nos permite la definición prescindir del concepto de resistencia?

3.4.10. Los matemáticos tratan las definiciones como meras identidades. Esto hace que el problema lógico de la definición sea trivial. ¿Elimina esto el problema metodológico de la elección de los conceptos básicos o definidores de una teoría? Examínense algunos textos sobre axiomática y sobre pruebas (metamatemáticas) de indefinibilidad.

3.5. INTERPRETACIÓN

Interpretamos un hecho cuando lo explicamos, e interpretamos un signo artificial (símbolo) cuando averiguamos o estipulamos lo que significa en un determinado contexto. Y un signo artificial significa –si es que significa– lo que representa, o sea, su designatum. El *designatum* de un símbolo es, por su parte, un objeto conceptual o físico o, más en general, un conjunto de objetos. Según esto, son símbolos significativos los que designan ideas o hechos, mientras que símbolos sin-sentido son los que no designan nada. La relación de la designación puede ser unívoca o biunívoca: en el primer caso es ambigua. Cualquiera de los designata de un símbolo ambiguo puede ser llamado un *sentido* del

mismo. Así, uno de los sentidos de 'fósil' es "restos de un ser vivo", y otro es "catedrático que no quiere jubilarse". En particular, un signo unidad, o *término*, es significativo si designa un conjunto no-vacío; la designación es no-ambigua si el conjunto es un conjunto-unidad. Y una *sentencia* será significativa si representa un conjunto de proposiciones; la sentencia será ambigua a menos que represente una sola proposición, y será sin-sentido si no representa ninguna proposición.

La significación es contextual, o sea, relativa, y no intrínseca y absoluta. Por ejemplo, la palabra inglesa 'silly' es sin-sentido en español: en este contexto no representa ninguna idea. Pero 'silly' significa en inglés lo mismo que 'tonto' en español. Análogamente, el que una sentencia sea significativa o no depende del contexto en el cual se presenta. Así, 'La Luna está triste' es un sin-sentido en astronomía, porque la astronomía no contiene el concepto de tristeza. Pero, en poesía, en virtud de las convenciones que regulan las metáforas, la anterior sentencia es una designación ambigua de un conjunto de proposiciones, una de las cuales es "Me entristece mirar a la Luna en este momento".

Ni siquiera los símbolos de la lógica tienen una significación absoluta, sino que pueden tener significaciones diferentes en las diversas teorías lógicas.

Lo anterior se refiere a uno de los conceptos de significación cubiertos por el término 'significación', a saber, a uno de los términos de la relación de designación; hemos identificado, efectivamente, la significación de un signo con la idea que representa. Hay, sin embargo, otros conceptos de significación, o sea, otros sentidos de 'significación'. En la sec. 2.3 definimos la significación de un término como el par formado por la intensión y la referencia del concepto designado por el término. Hay un tercer concepto de significación relevante para nuestra discusión y que está relacionado con la naturaleza de la referencia. Hemos visto (secs. 1.4 y 2.1) que las ideas pueden ser puras o no puras: pueden ser autocontenidas o apuntar a objetos no-ideales. La idea de número es de la primera clase, mientras que la idea de átomo es de la segunda. Así pues, en un tercer sentido, un signo será significativo si y sólo si designa una idea que, a su vez, tiene un referente no-ideal; y signos sin referente serán sin-sentidos en esta acepción. Los tres sentidos de 'significación' son relevantes para la metaciencia.

Por eso será conveniente introducir un cuarto *concepto* más *general de significación* que subsuma a los otros tres: un concepto que se refiera a símbolos, a las ideas que éstos representan y a los correlatos de estas últimas, si los hay. Este concepto de significación se introducirá prácticamente (no formalmente) por medio de una tabla (*vid.* en p. sig.).

La clase 1 es la de los símbolos *sin-sentido*, o sea, signos que no tienen designata ni, a fortiori, correlato. La clase 2 es la de los símbolos formalmente *significativos*, o sea, los signos que representan ideas lógicas o matemáticas. Así por ejemplo, '·' es formalmente significativo en aritmética, pues representa en ella o nombra el concepto de producto aritmético; en este caso el análisis de la significación se detiene aquí, porque el concepto "·" no refiere a ninguna operación empírica ni acontecimiento, al menos en el contexto de la aritmética. La clase 3 es la de los símbolos *empíricamente significativos*, o sea, los que designan ideas que tienen a su vez una referencia empírica; los conceptos empíricamente significativos denotan en particular experiencia o rasgos de la experiencia. Así 'espejismo' es empíricamente significativo: designa un concepto cuya denotación es un conjunto de fenómenos, pero no tiene referencia objetiva, puesto que los espejismos tienen

	(1) Sin sentido	(2) Formalmente significativo	(3) Empíricamente significativo	(4) Objetivamente significativo	(5) Plenamente significativo	(6) Relación
Signo	o	o	o	o	o	*Designación*
Idea (concepto, proposición, teoría)		o	o	o	o	*Referencia empírica*
Experiencia			o		o	
Hecho objetivo				o	o	*Referencia objetiva*
Ejemplo	?@#	'&'	'Dolor'	'Valencia química'	'Mesa'	

lugar en sujetos humanos y no en el mundo físico. Obsérvese que nuestra tabla no incluye la clase de signos significativos que no designan idea alguna, como '¡ay!'. En la ciencia, que es un cuerpo de ideas y procedimientos, esos símbolos tienen aún menos uso que los sin-sentido, los cuales, como no están comprometidos, pueden recibir por convención cualquier significado. La clase 4 es la de los signos *objetivamente significativos*, pero sin significación empírica, o sea, los signos que denotan ideas acerca de hechos o de cosas que están más allá de la experiencia, pero se consideran reales. Estrictamente hablando, deberían llamarse *signos de supuesta significación objetiva*, pues no hay garantía de que todos ellos sean verdaderamente objetivos. Caen en esta clase numerosas ideas científicas. Por ejemplo, 'partícula libre' es objetivamente significativo, en el sentido de que las teorías de las partículas libres pretenden referir a tales objetos, y que su pretensión está apoyada por el hecho de que hay valores de x para los cuales la función "x es una partícula libre" es aproximadamente verdadera. Pero 'partícula libre' no nombra ninguna clase de entidades experienciales, porque es imposible tener experiencia alguna de partículas enteramente libres: en cuanto que establecemos una conexión con ellas para obtener información dejan de ser libres; nuestra experiencia se refiere pues, a lo sumo, a partículas aproximadamente libres. Por último, la clase 5 es la de los símbolos que son *empírica y objetivamente significativos*, como los nombres de clases de objetos perceptibles. Obsérvese que no hemos incluido en 4 y 5 los signos que pretenden designar objetos físicos de los que no tenemos la menor idea.

Un pleno análisis de la significación aclarará a cuál de las cinco clases anteriores pertenece el símbolo. El análisis tendrá también en cuenta que las significaciones son

contextuales, en la medida en que la colocación de un determinado signo puede alterarse como resultado de la investigación. Así, un signo inicialmente sin-sentido puede recibir alguna significación: así ha ocurrido, por ejemplo, con inscripciones que inicialmente se creyeron naturales y luego se descifraron como signos de lenguaje; a la inversa, los signos aritméticos '·' y '+', cuando se adoptan en teorías abstractas, pierden su significación inicial y hasta toda significación específica. También el desarrollo de las técnicas de observación puede atribuir una significación empírica a un símbolo inicialmente dotado sólo de significación objetiva: piénsese en las moléculas, que hoy día son ya indirectamente visibles gracias al microscopio electrónico.

Para bien o para mal, hay que reconocer que el análisis de significación no es filosóficamente neutro. Es probable que un filósofo del lenguaje ordinario no descubra uso alguno para la significación formal ni para la objetiva: el lenguaje ordinario es un lenguaje de cosas, íntimamente enlazado con la experiencia cotidiana y muy pobre en palabras que designen ideas puras y conceptos teoréticos. Y un empirista radical no hallará uso alguno para símbolos objetivamente significativos que al mismo tiempo no tengan significación empírica (clase 4). Pero estos signos son característicos de la ciencia. Tomemos, por ejemplo, la sentencia 'El sistema solar se formó hace unos cinco millones de años': estrictamente hablando, esa sentencia carece de significación empírica, puesto que no corresponde a ningún conjunto de experiencias. Sin duda podemos imaginar un observador ficticio que hubiera sido testigo del gran acontecimiento; o también podemos intentar salvar desde un punto de vista empirista esa sentencia diciendo que si hubiera existido un observador en ese momento, habría sido testigo del hecho (lo que se llama un enunciado contrafactual). Pero observadores inexistentes, y, por tanto, inobservables, no pueden impartir contenido observacional alguno a una sentencia. Y para un empirista resultaría suicida inventarse entidades sobrehumanas (o acaso sobrenaturales). Por tanto, los empiristas coherentes tienen que exigir la eliminación de todos los símbolos sin significación empírica. Lo que ocurre es que una tal mutilación equivaldría a asesinar a la ciencia.

No obstante, el requerimiento de significatividad empírica, pese a ser mortal en su versión extrema, tiene una raíz sana, a saber, el deseo de evitar el sinsentido y, con él, las expresiones no sometibles a contrastación. Los predicados 'significativo' y 'contrastable' están en efecto relacionados por la tesis siguiente: *Si una fórmula es empíricamente contrastable, entonces es empíricamente significativa.* Lo que quiere decir que la contrastabilidad es condición suficiente de la significatividad; pero no que sea necesaria. Si al mismo tiempo se afirma esto, que es la recíproca, o sea, si se declara que la contrastabilidad es condición necesaria de la significatividad empírica, se establece la equivalencia de ambos predicados, esto es, la tesis de que una sentencia es empíricamente significativa si y sólo si es contrastable. Y si se añade a eso que la significación empírica es la única que existe, se tiene al final la *doctrina neopositivista de la significación como verificabilidad*, según la cual una sentencia es significativa (que quiere decir en este caso "empíricamente significativa") si y sólo si es verificable, o, más en general, contrastable. Pero la ecuación entre contrastabilidad y significación es desastrosa por las razones siguientes.

En primer lugar, la doctrina decreta la sinonimia de 'significación', que es un término

semántico, con 'contrastabilidad', que es un término metodológico. Mas la interpretación por conceptos empíricos es anterior a la efectiva realización de contrastaciones empíricas: para planear y poner en práctica la contrastación empírica de una hipótesis, tenemos que haber descubierto previamente que esa hipótesis nos lleva al nivel de la experiencia, o sea, tenemos que haber averiguado sus implicaciones empíricas. Supongamos que un físico teórico lanza la hipótesis de la existencia de una nueva clase de partículas a las que da el nombre de epsilones. El experimentador que se disponga a contrastar esa hipótesis la utilizará, junto con elementos de teorías ya aceptadas, para trazar los experimentos o las observaciones, y determinará por tanto previamente qué tipo de resultados experimentales debe esperar en el caso que los epsilones existan efectivamente, y qué tipo de resultados si no existen. En resolución: el experimentador tiene que poseer al menos en parte la intensión del concepto "épsilon" antes de hacer sus planes para averiguar si la extensión de dicho concepto es o no es vacía; pero para que un signo sea significativo es necesario y suficiente que designe un concepto cuya intensión no sea vacía.

Otro argumento contra la doctrina de la significación como verificabilidad es que las contrastaciones afectan a enunciados enteros (o incluso a conjuntos de ellos), y no a conceptos, de tal modo que la doctrina no suministra medio alguno para especificar las significaciones de los términos y de sus designata. Podemos, en efecto, someter a contrastación la conjetura "Este líquido es un ácido", pero no "líquido" ni "ácido". Como a las operaciones sólo pueden corresponder enunciados, la exigencia (hecha por el operativismo) de que todo concepto esté relacionado con un conjunto de operaciones –y a ser posible de mediciones– es irrealizable.

*La confusión entre contrastabilidad, significación empírica y significación objetiva es en gran parte la causa de la presente controversia acerca de los fundamentos de la mecánica cuántica. Tomemos, por ejemplo, la frase 'El electrón se encuentra en el lugar x en el momento t'. De acuerdo con la doctrina de la significación como verificabilidad, que sigue teniendo éxito entre los físicos, la frase carece de significación mientras no se realice efectivamente una medición de posición en el momento t, tal que localice al electrón en x o no lo localice. Dicho de otro modo: la significación de la frase quedaría decidida por la operación planeada para contrastarla. Éste es un claro caso de confusión entre significación y contrastación. La frase tiene una significación objetiva en todo momento, aun cuando sólo vale en circunstancias excepcionales. Aún más, pese a no ser empíricamente significativa, implica consecuencias observacionales y es, por tanto, empíricamente significativa de un modo indirecto, a saber, en la medida en que no se entiende como relativa a una sola partícula aislada; por eso podemos averiguar en qué condiciones es contrastable. La situación sería diversa si lo discutido fuera el concepto de posición oculta, o posición en sí misma (no perturbada por el experimento): una sentencia que afirmara que un electrón tiene tal posición oculta sería objetivamente significativa, pero empíricamente sin-sentido y, por tanto, incontrastable. En nuestra clasificación de las significaciones, 'posición observable' pertenece a la clase 5, mientras que 'posición oculta' pertenece a la clase 4.

El intento de dotar a toda fórmula científica de contenido empírico lleva a poblar el universo entero, pasado y futuro, con un infinito equipo de observadores inobservados; sería más concorde con los hechos reconocer abiertamente que las construcciones teoré-

ticas no tienen significación empírica, razón, precisamente, por la cual rebasamos el conocimiento ordinario. Pero el intento lleva además a callejones sin salida. Así, por ejemplo, observamos antes que 'partícula libre' es empíricamente sin-sentido, aunque objetivamente significativo. Consecuentemente, una teoría de las partículas libres no puede recibir interpretación empírica; en particular, los enunciados de la teoría que se refieren a posición y momento de una partícula libre no pueden interpretarse como enunciados de observación, o sea, como enunciados referentes a resultados de la operación de observar (propiamente, medir) la posición y el momento de una partícula libre. Pero muchos físicos, partiendo del supuesto de que una partícula es libre y, particularmente, libre de interacción con aparatos de medición, sostienen que ciertas consecuencias de una tal teoría de partículas libres –como las relaciones de incertidumbre de Heisenberg– tienen que interpretarse como referentes a la interacción de la partícula con un aparato macroscópico de observación, o tal vez incluso con el observador. Una vez realizado este milagro semántico, se nos da lo demás por añadidura: la teoría que, para empezar, no hizo supuesto alguno respecto del aparato de medición, por no hablar ya del observador (puesto que se suponía que era una teoría física, no una teoría psicológica), predice la dimensión de la perturbación cualquiera que sea el aparato concreto que se meta de contrabando en la "interpretación" de las fórmulas. (En la sec. 7.4 se encontrará un examen más detallado de este acertijo.)

El debate en curso sobre los fundamentos de la mecánica cuántica es en gran parte una discusión sobre la interpretación de sus símbolos y una controversia entre los que subrayan la necesidad de contrastabilidad y los que insisten en el contenido factual (objetivo), o *referencia* externa de la teoría. Los primeros desean asegurar la contrastación de la teoría, y pierden muy fácilmente de vista su correlato objetivo, hasta el punto de negarse a atribuir a la teoría significación alguna independientemente de los procedimientos de contrastación empírica; de este modo se deslizan, quiéranlo o no, hacia un subjetivismo. Y los objetivistas, preocupados por mostrar que la teoría tiene una referencia objetiva, tienden a despreciar su contrastación, hasta el punto de introducir conceptos que designan entidades y propiedades insusceptibles de ser puestas de manifiesto experimentalmente. Esta discusión podría aclararse y reorientarse hacia puntos más fecundos mostrando que aquí hay una cuestión semántica erróneamente interpretada como problema metodológico, y un problema metodológico despreciado en favor de una cuestión semántica. Los semánticos pueden prestar una gran ayuda en ese debate si estudian la diferencia entre significación empírica y significación objetiva a propósito de las cuestiones científicas en discusión, en vez de encerrarse en sus lenguajes de juguete. *

En las próximas secciones consideraremos más aspectos de este conjunto problemático.

Problemas

3.5.1. ¿Son significativos los hechos? En particular: ¿Sirve para aclarar algo el hablar de la significación de acontecimientos culturales, de acaecimientos históricos, de sueños? Caso afirmativo: ¿en qué sentido?

3.5.2. Proponer una interpretación de '$p \rightarrow q$' en lenguaje ordinario, otra en lenguaje episte-

mológico, otra en lenguaje ontológico y otra en lenguaje psicológico. *Problema en lugar del anterior*: Averiguar si la fórmula "$(\exists x)Px$", además de ser formalmente significativa, puede recibir una significación empírica y una significación objetiva. Sugerencia: distinguir "hay" de "algunos".

3.5.3. Comentar la doctrina estoica de los signos, la cual distinguía entre el sonido, la significación, el objeto denotado y la imagen subjetiva producida por una palabra.

3.5.4. Analizar el análisis de la interpretación presentado en M. Bunge, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

3.5.5. Supongamos una teoría cuantitativa correcta de la convalidación empírica que nos permitiera medir el grado de confirmación de fórmulas sintéticas (no analíticas). Supongamos además que 'significativo' = 'verificado o verificable'. ¿Cómo podríamos pasar de grado de confirmación y grado de contrastabilidad a grado de significación? ¿Qué significaría, por ejemplo, '2/3 significativo'?

3.5.6. Proponer criterios de significatividad empírica y de significatividad objetiva.

3.5.7. ¿Existen contrastaciones para establecer la significación empírica y la objetiva?

3.5.8. Proponer una distinción entre "significación" (concepto semántico) y "comprensión de una significación" (concepto psicológico).

3.5.9. Examinar la tesis de que la significación (y no meramente la contrastación) de un enunciado probabilitario es que puede observarse cierta frecuencia relativa muy próxima al valor numérico de la probabilidad afirmada por el enunciado. *Problema en lugar del anterior*: Determinar la significación y describir la contrastación posible del enunciado: "Las rocas situadas en la cima de esa colina tienen una energía potencial positiva". ¿Supone la contrastación efectiva alguna situación implicada o aludida por el enunciado?

3.5.10. Examinar las expresiones siguientes, que son corrientes en física:

1. 'La masa es una magnitud escalar.'
2. 'El campo electromagnético es un hexavector.'
3. 'El campo gravitatorio es un campo tensorial de 10 componentes.'
4. 'El *spin* es un pseudovector.'

¿Tienen en cuenta esas expresiones la diferencia entre un predicado y su correlato? *Problema en lugar del anterior*: Discutir la relación entre el concepto de fórmula bien formada (o expresión sintácticamente significativa) y el concepto semántico de significación. ¿Es cada uno de ellos necesario para el otro?

3.6. PROCEDIMIENTOS INTERPRETATIVOS

Como las piezas de un rompecabezas, un signo no puede tener sentido más que en un contexto, es decir, en relación con otros objetos. Los designata de signos y los correlatos de los designata, si éstos los tienen, se encuentran entre esos otros objetos que, juntos, dan significación a un signo. Si el símbolo tiene un correlato no-conceptual y su interpretación está determinada, parcialmente al menos, por una relación signo-correlato, llamamos a esta relación *referición* y cuidamos de no confundirla con una definición, que es una correspondencia signo-signo (cf. sec. 3.3). En esta sección vamos a examinar las siguientes clases de procedimientos de interpretación: referición ostensiva, coordinativa y operativa, así como reglas semánticas.

Cuando enseñamos vocabularios a alguien, ya se trate de vocabularios ordinarios, ya de vocabularios técnicos, nos vemos obligados a apelar a *refericiones ostensivas* (corrien-

temente llamadas definiciones ostensivas), como, por ejemplo, a enunciar la frase 'Esto es un lápiz' haciendo al mismo tiempo un gesto. En sí misma, la expresión verbal carece de significación: es una función sentencial (cf. sec. 2.1) de la forma '... es tal o cual cosa', en la cual el hueco no se rellena con un nombre propio, sino mediante una combinación del signo 'esto', que puede eliminarse, con un adecuado movimiento corporal. Las refericiones ostensivas no son, pues, operaciones puramente conceptuales, sino más bien puentes entre la experiencia en bruto y el lenguaje.

La virtud didáctica de las refericiones ostensivas, a saber, su proximidad a la experiencia ordinaria, las hace inadecuadas para introducir términos de alto nivel, típicos de la ciencia, como 'temperatura': es imposible señalar esa propiedad con el dedo. Además, las refericiones ostensivas están demasiado íntimamente vinculadas al sujeto conocedor: de hecho y por no hablar ya del gesto –que no será ni inequívoco ni universal– 'esto' es una palabra centrada en el sujeto (egocéntrica), incapaz de suministrar información universal y objetiva. Además, las refericiones ostensivas no pueden dar casi nunca especificaciones no ambiguas de significación. Así, si decimos 'Esto es blanco' y al mismo tiempo señalamos una hoja de papel, un extranjero puede no entender si nos referimos al color, a la forma, a la estructura o al montón de hojas. Sólo algunos nombres singulares –nombres de individuos perceptibles– pueden introducirse sin ambigüedad de este modo. Los universales no pueden introducirse así: podemos señalar un individuo perceptible y, dentro de ciertos límites, una colección de individuos, pero no clases compuestas por miembros actuales y potenciales; ni tampoco podemos señalar propiedades no-sensibles, como "viscoso", ni relaciones no empíricas, como "mejor adaptado que". No se puede señalar más que cosas fenoménicas, acontecimientos y propiedades fenoménicos. Los conceptos que tienen una significación objetiva sin significación empírica (cf. sec. 3.5), como "átomo", no pueden introducirse por referición ostensiva. Por esta razón la referición ostensiva no tiene lugar alguno en la teoría científica, aunque es indispensable para aprender y ampliar vocabularios. Si la ciencia intentara trabajar con términos ostensivos, y hasta si intentara destilar conceptos trasfenoménicos a partir de los hechos de la experiencia (fenómenos), la referición ostensiva sería el camino real de la ciencia. (Y el hecho de que no sea así indica que la filosofía fenomenista no concuerda con el conocimiento científico.) La referición ostensiva se ha incluido en esta sección exclusivamente porque se confunde corrientemente con un tipo de definición, y porque se supone erróneamente que se da en la ciencia.

Un segundo tipo de procedimiento de interpretación signo-objeto es la *referición coordinativa* (corrientemente llamada definición coordinativa): consiste en vincular un símbolo con una determinada cosa o propiedad física tomada como criterio o línea básica. En la sistemática biológica clásica se toma como criterio o tipo el ejemplar completo e inicialmente identificado de un determinado orden taxonómico, y se supone que el nombre de la especie nombra precisamente un conjunto de individuos más o menos parecidos al ejemplar típico o criterio, conservado en un museo. Y los patrones físicos, o sea, materializaciones de unidades de magnitud (kilogramo, segundo, voltio, etc.), sirven como correlatos de símbolos introducidos por referición coordinativa.

Las refericiones coordinativas se eligen siempre basándose en la conveniencia práctica y, muchas veces a escala humana. El primer criterio internacional de longitud (el metro-

patrón) se construyó en 1799 y presenta la orgullosa inscripción: *Pour tous les temps, pour tous les peuples.* Su universalidad no alcanzó a los países anglosajones, y su eternidad duró hasta que la física atómica halló criterios más estables y más fáciles de reproducir. El adoptado en 1960 (que no tiene por qué ser definitivo) es cierta línea naranja-rojiza del espectro del Krypton 86. El metro se ha convertido así en una unidad derivada, y no se introduce ya mediante una referición sino por una definición explícita, a saber:

1 metro $=_{df}$ 1.650.763,73 longitudes de onda de la luz naranja-rojiza de Kr^{86}.

(Obsérvense los términos teoréticos del definiens: 'longitud de onda' y '86', valor de la masa atómica. En el definiens de la más exacta definición convencional no se presentan más que términos teoréticos.) Las refericiones coordinativas no pertenecen a la teoría científica, pero sí que se presentan en las fases de recolección de información y de contrastación de la ciencia factual. En particular, no sustituyen a las definiciones correspondientes, si las hay, sino que las materializan. Así por ejemplo, la célula eléctrica de Weston usada como criterio o patrón del voltaje, no sustituye la definición teorética de "voltio" como trabajo unidad realizado a lo largo de un circuito.

Las *refericiones operativas* (corrientemente llamadas definiciones operativas) establecen correspondencias entre símbolos, por un lado, y operaciones controladas o sus resultados por otro lado: son el tipo de referición característicamente signo-experiencia (cf. sec. 3.2) y, consiguientemente, suministran significación empírica (cf. sec. 3.5). Por ejemplo, los varios tipos conocidos y posibles de medición de temperatura (por medio de dilatación térmica de gases, líquidos y sólidos, o por medio del efecto termoeléctrico, etc.) suministran otras tantas refericiones operativas del concepto de temperatura. Esta variedad choca con la unicidad del concepto de temperatura introducido por la termodinámica. Análogamente, tampoco hay una referición operativa única para la longitud: el arquitecto, el astrónomo y el físico nuclear utilizan procedimientos diversos para medir distancias y, en el caso del científico, incluso teorías para medir: pero el mismo concepto de longitud es supuesto por todos. Esta ambigüedad es un mérito de la referición operativa, pues muestra una buena parte del ámbito de aplicación o extensión de ciertos conceptos. Pero, por eso mismo, no puede especificar sin ambigüedad las significaciones. (Cf. fig. 3.5.)

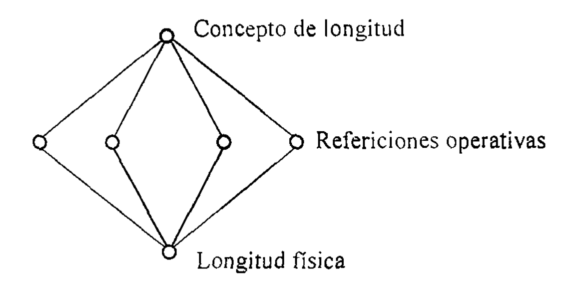


FIGURA 3.5. Un único concepto, que denota una determinada propiedad física, es parcialmente dilucidado mediante varias refericiones operativas.

Una escuela filosófica todavía influyente, el *operativismo*, sostiene que sólo las operaciones de medición pueden suministrar a los términos científicos significación, y que lo que hemos venido llamando refericiones operativas son definiciones propiamente dichas. El operativismo se basa en los siguientes equívocos y errores: (*i*) La confusión de *definido* con *determinado*. Por medio de un aparato y de una secuencia de operaciones puede determinarse la velocidad de un rayo molecular (preparación de un rayo homogéneo), o se le puede atribuir un valor determinado (medición). Pero el concepto de velocidad no queda afectado por esas operaciones; aún más: al preparar esas operaciones estamos utilizando un concepto de velocidad con todas las de la ley. (*ii*) La confusión entre *definición* (equivalencia entre signos o entre conceptos) y *referición* (correspondencia entre signos y sus correlatos). (*iii*) La identificación de referencia con referencia *empírica*, o sea, de significación con significación empírica. Esto tiene como consecuencia la negativa a admitir conceptos como el de propagación de la luz en el vacío, simplemente porque tales conceptos no tienen contrapartida experiencial (cf. sec. siguiente). (*iv*) La confusión entre *significación* y *contrastabilidad*, y, consiguientemente, entre semántica y metodología (cf. sec. 3.5). Si se le depura de todas esas confusiones, el operativismo se reduce a unas pocas exigencias muy sanas: (*i*) evitar las llamadas *definiciones verbales* (por ejemplo: "El tiempo es la imagen divina de la eternidad", Platón); (*ii*) asegurar la *interpretabilidad* empírica de términos científicos (algunos, no todos), para asegurar a su vez (*iii*) la *contrastabilidad* empírica de hipótesis científicas (de la mayoría, no de todas). Pero esas exigencias no son exclusivas del operativismo, sino que constituyen el sano núcleo del empirismo en general.

Las mediciones se llevan a cabo para *contrastar* determinados enunciados, no para descubrir significaciones. Es verdad que, al delimitar extensiones, esas operaciones pueden *ayudar* secundariamente a interpretar ciertos signos. Cuando decimos que 'La temperatura es eso que miden los termómetros' añadimos sin duda una dimensión de experiencia humana al signo objetivamente significativo '*T*', manejado por la termodinámica (la cual como teoría no se interesa por mediciones de temperatura), y obtenemos, consiguientemente, una captación más rica de su significación: pero ese hecho psicológico no constituye una definición de "temperatura"; simplemente, *ayuda a entender* la significación de '*T*', y esa ayuda es más asunto de la psicología que de la semántica. Supongamos que de alguna teoría se infiere que la temperatura de un determinado cuerpo al que llamaremos c es de π grados Celsius, o sea: $T(c) = \pi°C$. Una medición efectiva de la temperatura de c sostendrá o refutará el anterior enunciado, y contribuirá tal vez a su comprensión, pero no nos dará la significación del concepto de temperatura. A menos de poseer ya previamente este concepto y de saber, aunque fuera superficialmente, cómo se relaciona con otros conceptos físicos, no habríamos sido capaces de planear y realizar la operación de medición. Además, una tal operación no puede nunca determinar (por no hablar ya de definir) el valor numérico del concepto de temperatura de un modo exacto. En realidad, toda medición, por precisa que sea, nos dará un número fraccionario (racional), 22/7 por ejemplo, que es un valor *aproximado* de la magnitud en cuestión: los números irracionales, como π, son empíricamente inaccesibles. (En general, el *campo* o dominio *teorético* de las magnitudes es el conjunto de los números reales, mientras que su *campo empírico* es un subconjunto de los números racionales.) En resolución: la medi-

ción suministra (*i*) una estimación del valor numérico de una propiedad cuantitativa, y, consiguientemente, (*ii*) una contrastación de enunciados que se refieran a esa magnitud; (*iii*) una ilustración de su uso y, por tanto. (*iv*) una comprensión psicológica de la significación de expresiones que contengan los términos de que se trate.

La parcialidad y la ambigüedad de la referición operativa no se limita a los conceptos cuantitativos. Tomemos, por ejemplo, la versión cualitativa del concepto de carga eléctrica (que es un concepto cuantitativo). Un operativista propondría la siguiente "definición" de ese concepto: "Para todo *x*, si un cuerpo ligero *y* se coloca cerca de *x* en el momento *t*, entonces: *x* está cargado eléctricamente en el momento *t* si y sólo si se *observa* que *y* se mueve hacia *x* o se aleja de *x* en el momento *t*". La estructura de ese enunciado es básicamente la de la definición condicional, esto es "$C \rightarrow (A \leftrightarrow B)$" (cf. sec. 3.3, fórmula [3.8]). En esta fórmula '*A*' es el atributo que hay que introducir (en nuestro caso: 'cargado eléctricamente'), '*C*' describe alguna condición experimental y '*B*' el comportamiento observado. No hay duda de que ese enunciado ofrece una dilucidación parcial de la significación de '*A*', pero es una dilucidación sumamente vaga y ambigua, porque una misma situación experimental (la descrita por '*C*') es coherente con resultados distintos del descrito por '*B*'. Así, por ejemplo, exactamente la misma fórmula vale para *cualquier* otra fuerza de efectos macroscópicos, como la gravedad y el magnetismo; por otro lado, la fórmula es inútil si se trata de fuerzas intermoleculares, interatómicas y nucleares. Además, la sentencia se refiere a las condiciones en las cuales se contrasta la condición eléctrica (o magnética, o gravitatoria) del cuerpo, pero no dice nada acerca del comportamiento del cuerpo cuando no se están haciendo contrastaciones empíricas. Esto se debe, naturalmente, a la abierta intención de evitar, con este tipo de referición, toda referencia a objetos físicos independientes (reales) –referencia sospechosa de subjetivismo para los operativistas– y al deseo de reducir los términos teoréticos a términos observacionales. Éstas son, en realidad, razones para pensar que las refericiones operativas no dan más que *interpretaciones incompletas*.

Si las significaciones de los términos científicos se especificaran exclusivamente a base de operaciones humanas, la ciencia objetiva no existiría. La ciencia factual es objetiva en la medida en que da fielmente razón del mundo externo, y esto supone procedimientos de interpretación que no apuntan exclusivamente a operaciones humanas, sino también a hechos objetivos. Así, la teoría de la electricidad no tiene uso alguno para esa "definición operativa" de carga eléctrica, porque aquella teoría no trata de cuerpos eléctricamente cargados según operaciones humanas: lo que hace es describir cosas –y explicar su comportamiento– según conceptos teoréticos, como "carga eléctrica" y "campo eléctrico" de los que se supone que tienen correlatos objetivos aunque no son conceptos observacionales. Además, la teoría nos da una "imagen" (en gran parte intuitiva) de cargas y campos que no se exploran por medio de cuerpos experimentales; y hasta las operaciones de experimentación o, más en general, de contrastación, se explican en la teoría como procesos puramente físicos, y no con términos psicológicos, como la frase 'se observa que *y* se mueve'. El concepto de observación pertenece a la psicología y al estudio de contrastación de las teorías factuales. Dicho de otro modo: el hombre y sus operaciones –centro del operativismo– no se presentan en la reproducción conceptual de la realidad física.

En conclusión, las refericiones se presentan en el estadio de contrastación de la cien-

cia, pero no pertenecen a su estructura conceptual. El estadio de contrastación no puede empezar sino después de haber dilucidado ciertos conceptos en alguna medida –si es posible, con la ayuda de una teoría. Luego, las refericiones contribuyen a la dilucidación de conceptos porque suministran una parte de la extensión de algunos de ellos (no de todos). El exagerar el papel de la referición y, en particular, de las refericiones ostensiva y operativa, lleva a desconfiar de la teoría y a volver al antropocentrismo; es por tanto peligroso para el desarrollo de la ciencia. Además, esa exageración es filosóficamente confusionaria, porque acumula la interpretación, la comprensión, la definición y la contrastación en una sola masa indistinta.

Estudiemos, por último, las *reglas semánticas*, o reglas de significación. Distinguiremos dos clases de reglas semánticas: refericiones nominales y postulados de interpretación. Una *referición nominal*, o *regla de designación*, es una convención puramente lingüística por la cual se asigna un nombre a una cosa, como en el ejemplo " '*C*' representa el carbono". En la ciencia factual eso no es una proposición, sino una convención o propuesta: no es ni verdadera ni falsa, ni se la somete a contrastación para averiguar su valor veritativo. Por eso sería mejor formularla explícitamente como convención lingüística: "Llamemos '*C*' al carbono". (Fuera del cuerpo de la ciencia, aquella primera expresión significa una proposición, esto es, una idea acerca de un uso normal del signo '*C*' en algún grupo humano: entonces describe comportamiento lingüístico. Pero éste no es el sentido que interesa en la ciencia y la filosofía.) Las reglas de designación introducen símbolos por convención. A diferencia de otros tipos de referición, éstas son enteramente arbitrarias. Y a diferencia también de las definiciones no son en absoluto análisis del concepto definido: las refericiones nominales estipulan meramente una correspondencia biunívoca entre un signo y una clase de objetos. Dicho brevemente: estipulan nombres.

(En la práctica una regla de designación puede estar sugerida, y va siempre precedida por un cuerpo de conocimiento. Así, por ejemplo, el nombre de *mercurio* para designar un elemento químico estaba inicialmente vinculado a una idea alquímica acerca de las influencias astrales; y el nombre de *organismo* dado a los seres vivos sugiere que lo que diferencia a un ser vivo de la mera yuxtaposición de sus partes es cierta organización, y no una sustancia especial. Los nombres pueden empezar por sugerir ideas y no ser neutrales. Pero, si no son más que nombres, al final terminan por no ser más que etiquetas convencionales o señales de identificación –a veces muy inadecuadas, como en los casos de 'número real', 'número imaginario', 'número irracional', fósiles de una errónea filosofía de la matemática.)

Un *postulado de interpretación* es un supuesto que confiere significación a un símbolo, pero no convencionalmente, sino de tal modo que la verdad o falsedad factuales de las expresiones que contienen ese símbolo dependerán de que se acepte o rechace el postulado de interpretación. Los postulados de interpretación desempeñan un papel importante en la interpretación, la aplicación y la contrastación del formalismo (el esqueleto simbólico) de las teorías científicas. Así, por ejemplo, la geometría física elemental consta de enunciados formales (matemáticos) como el teorema de Pitágoras, y de reglas semánticas que postulan correspondencias entre ciertos objetos geométricos (líneas, por ejemplo) y ciertas entidades físicas (rayos de luz, por ejemplo). Tales postulados funcio-

nan como reglas de traducción del lenguaje formal al empírico y viceversa. En ausencia de tales postulados, las fórmulas carecen de referencia factual y empírica, o bien reciben interpretación de un modo intuitivo y, por tanto, incontrolable. Al añadirse postulados de interpretación, la teoría matemática se convierte en una teoría factual: cobra referencia objetiva y, al mismo tiempo, puede hacerse empíricamente contrastable. En cuanto se enriquece así la inicial teoría formal con una significación factual, se pierde el Paraíso de la verdad formal y la teoría queda sometida al esfuerzo de los experimentadores por examinar sus pretensiones de verdad factual.

Los postulados de interpretación no son propuestas, sino proposiciones en toda regla, de la forma "La interpretación de s es P", en la que 's' designa al signo y 'P' la propiedad que se le correlata. Pero los postulados de interpretación pueden usarse como reglas semánticas porque funcionan a la vez como postulados de teorías científicas y como reglas de significación. (Recuérdese que las fórmulas no son en sí mismas nada, si se las separa de las funciones que cumplen. La fórmula aritmética "$x+y=y+x$" puede considerarse como una ley o como una regla para manejar los signos que se presentan en ella, según el aspecto que nos interese.) En cualquier caso, no son reglas puramente convencionales, como las referiRciones nominales. Si el símbolo del carbono se cambiara de 'C' a 'K' no se producirían más que inconvenientes prácticos (incluso para los alemanes). Pero si en la ley galileana de caída de los graves se interpreta la 'g' como la libido de la Tierra, pongamos, o como la agudeza visual del experimentador, se tendría un enunciado carente de significación física (y, por tanto, no contrastable) y psicológicamente falso.

O también, tómese la discutida función ψ de la mecánica cuántica: se la puede considerar como un símbolo matemático sin correlato físico, es decir, se le puede atribuir significación exclusivamente formal (por ejemplo, mediante la regla de designación "'ψ' designa un vector en el espacio de Hilbert"). O bien se la puede considerar como representativa del estado de un sistema físico, o como una amplitud de onda material, o como la intensidad de un campo, o como una probabilidad, etc. Y algunos de esos postulados pueden ser coherentes unos con otros, o sea, que se pueden atribuir coherentemente varias significaciones y papeles al símbolo 'ψ': este símbolo puede pertenecer al mismo tiempo a un espacio funcional abstracto, puede representar el estado físico de un sistema en su conjunto, la onda de De Broglie asociada a este último, la zona de probabilidad de la posición, etc. Esta última interpretación valió a M. Born el premio Nobel, el cual se da a los padres de ideas interesantes, y no a los que las bautizan, a menos que el nombre resulte dar la significación.

Ninguna teoría puede considerarse como más que un esqueleto simbólico, a menos que se le añadan referiRciones y/o reglas semánticas de interpretación de sus signos básicos. (Recuérdese que las definiciones no pueden ser útiles más que para dar significaciones a signos no-primitivos.) Cada una de esas interpretaciones producirá una teoría objetiva y/o empíricamente significativa; y una de esas interpretaciones dará normalmente una teoría (modelo) que será factualmente verdadera en alguna medida, aunque en un determinado momento puede no ser posible una elección tajante entre los diversos modelos. Los postulados de interpretación y las reglas de designación –o sea, las reglas semánticas en general– son los principales (no los únicos) expedientes para dotar de significación a los símbolos básicos (primitivos) que constituyen los supuestos sustantivos de una teoría

científica. Los demás símbolos de una teoría reciben contenido –en la medida en que no son formales– por medio de definiciones y/o refericiones operativas.

Pero la significación total de una compleja teoría científica no queda nunca dada de una vez para siempre por un conjunto de refericiones y definiciones. La discusión de ejemplos, incluso sencillos como son los de interés puramente académico, y la discusión de resultados experimentales efectivos y posibles, suelen ayudar a conseguir comprensión del significado de los conceptos teoréticos. Además, las interpretaciones no tienen por qué ser conclusivas. Así, por ejemplo, la mecánica newtoniana –por no hablar ya de la mecánica cuántica– se encuentra aún en proceso de interpretación correcta, aunque ello no afecte a sus ecuaciones básicas: aún podemos discordar acerca de las significaciones de "masa", "fuerza ficticia", "sistema de inercia". Probablemente no hay más que un procedimiento infalible para terminar de una vez para siempre todas las cuestiones de interpretación de símbolos y sistemas de símbolos científicos, a saber, el procedimiento de olvidarlas. Y efectivamente se ha propuesto, y sigue aún defendiéndose, esta solución radical al problema de la significación de las construcciones científicas. Así lo veremos en la próxima sección.

Problemas

3.6.1. Identificar los enunciados siguientes:

1. Esto es un telescopio.
2. Los filósofos son individuos como Platón y Descartes.
3. El patrón de peso es el *kilogramme des archives* de Sèvres.
4. La longitud es eso que miden las cintas métricas.
5. 'm_i' designa el valor numérico de la masa de la i-ésima partícula.
6. '$P_{mn} = 0$ salvo que $n = m-1$' significa que la única posibilidad que tiene el sistema es descender al nivel inmediatamente inferior.

3.6.2. Ofrecer ejemplos de refericiones coordinativas y operativas, de reglas de designación y de reglas de interpretación. *Problema en lugar del anterior*: Estudiar refericiones ostensivas.

3.6.3. Examinar las tesis siguientes: (*i*) Un concepto es sinónimo del correspondiente conjunto de operaciones: P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics*, Nueva York, Macmillan, 1927, p. 5. (*ii*) Las definiciones operativas son circulares. Así, la definición operativa de longitud supone correcciones de temperatura, y, a su vez, la definición operativa de temperatura supone mediciones de longitud: K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, Londres, Hutchinson, 1959, p. 440. (*iii*) Las definiciones operativas no son equivalencias plenas, sino enunciados condicionales de la fórmula "$C \rightarrow (A \leftrightarrow B)$": R. Carnap, "Testability and Meaning", *Philosophy of Science*, *3*, 419, 1936, y *4*, 1, 1937. (*iv*) Las llamadas definiciones operativas son criterios de aplicación de los términos considerados: C. G. Hempel, "Introduction to Problems of Taxonomy", en J. Zubin (ed.), *Field Studies in Mental Disorders*, Nueva York, Grune & Stratton, 1961.

3.6.4. El operacionismo sostiene que diferentes clases de operaciones definen diferentes conceptos, aunque éstos se designen con el mismo nombre y aunque la teoría no distinga entre ellos. Por ejemplo, diferentes tipos de amperímetros "definirían" diferentes conceptos de corriente eléctrica. ¿En qué se convertiría la unidad de cada rama de la ciencia si se adoptara el operativismo? En particular, ¿qué sería de las teorías científicas?

3.6.5. Magos, alquimistas y parapsicólogos podrían perfectamente conseguir refericiones

operativas de los términos que usan, puesto que existen correspondencias entre esos términos y ciertos ritos y operaciones. ¿Basta eso para hacer científicas a la magia y la parapsicología?

3.6.6. Establecer una lista de las reglas semánticas (reglas de designación y postulados de interpretación) de una teoría científica a elección.

3.6.7. Examinar la siguiente referición del concepto de partícula elemental: "Una partícula elemental es un sistema que por el momento no ha sido descompuesto". ¿Sería justificado adoptar ese enunciado como si fuera una definición?

3.6.8. Las definiciones condicionales –enunciados de la forma [3.8] de la sección 3.3– se han llamado a veces enunciados de *reducción* bilateral cuando introducen un predicado físico *A* mediante un predicado observable *B* (que se refiere a comportamiento observable) y otro predicado observable *C* (que se refiere a condiciones observables del experimento o contrastación). Ese nombre responde a la esperanza de que las propiedades físicas (objetivas) pueden *reducirse* a propiedades fenoménicas (subjetivas), o sea, a cualidades sensibles. ¿Ha sido realizado ese programa? ¿Es realizable? ¿Es coherente con la aspiración a la objetividad?

3.6.9. Examinar si el concepto de temperatura está relacionado con el de percepción de calor. Caso afirmativo, describir la relación. ¿Es una relación lógica? Si no lo es, ¿es puramente convencional? Discutir el problema general de si pueden fundarse reglas de correspondencia sensación-concepto basándose en leyes psicofísicas.

3.6.10. Se afirma corrientemente que los conceptos científicos pueden ser teoréticos o empíricos, pero no ambas cosas. ¿Confirma el concepto "peso" que ésa sea una dicotomía adecuada? ¿Y cuáles son las relaciones entre las extensiones del concepto observacional y el concepto teorético de peso?

3.7. LA "VALIDEZ" DE LOS CONCEPTOS

Puede asegurarse que "fantasma", "amable" y "gordo" no son conceptos científicos: el primero pertenece al folklore, el segundo es demasiado subjetivo, y el tercero es sumamente vago. Podemos utilizarlos en el curso de la investigación, pero tenemos que eliminarlos de los resultados de la misma. Es fácil descartar conceptos tan típicamente acientíficos; pero, ¿qué ocurre con conceptos como gravedad, pre-adamita o neutrino si se los considera en el momento de su introducción, es decir, en un momento en el cual no tenían apoyo empírico alguno? ¿Existe algún criterio seguro de discriminación entre conceptos científicamente válidos y no-válidos? Como mostraremos en lo que sigue, existe ciertamente un criterio sencillo, pero es tan falible como la ciencia misma.

Hay que considerar ante todo la cuestión de la precisión intensional. Un concepto científicamente válido tiene que poseer una intensión o connotación determinada. Dicho de otro modo: la vaguedad intensional de los conceptos científicos debe ser mínima. Esto excluye de la ciencia conceptos escandalosamente vagos como "pequeño", "alto" y "posible" usados sin calificación o relativización. (Una tal relativización puede ser tácita, como en el caso de "física de las altas energías", que se refiere por convención a la física que estudia hechos que suponen energías de más de un millón de electronvoltios.) Ahora bien, es imposible atribuir una intensión precisa a un concepto si no es en algún contexto. Y el contexto propio de un concepto científico es un sistema científico. Por tanto, nuestra regla puede volver a formularse del modo siguiente: Una condición necesaria de la validez

de un concepto en la ciencia es la posesión de una intensión suficientemente determinada en algún sistema científico. Esta regla es ella misma vaga, y hay que dejar que sea así para poder dar lugar a conceptos en embrión que jamás se afinarían si no estuvieran insertos en un sistema científico.

Otra condición necesaria de la validez científica de un concepto es que su vaguedad extensional sea reducida. Dicho de otro modo: los conceptos científicos deben tener una extensión suficientemente determinada, o sea, que tienen que ser aplicables de un modo suficientemente inequívoco. Y también esta regla nos obliga a apelar al sistema en el cual está inserto el concepto, pues los datos empíricos que nos permiten fijar la extensión –o, por mejor decir, la extensión nuclear– de un concepto no son relevantes más que en el mismo contexto al que el concepto pertenece.

Las reglas anteriores pueden formularse de un modo más preciso con la ayuda de los conceptos de intensión y extensión nucleares introducidos en la sec. 2.3. Podemos decir que para que un concepto sea científicamente válido es necesario que tenga una intensión nuclear y una extensión nuclear determinadas. Como éstas determinan por su parte la significación nuclear del signo que designa al concepto, nuestra regla puede aplicarse a signos utilizando la fórmula [2.24] de la sec. 2.3: si un signo es científicamente válido, entonces tiene una significación nuclear determinada en algún sistema científico.

Una intensión y una extensión suficientemente precisas son necesarias para aceptar a un concepto como científicamente válido, pero no son suficientes. La división por cero cumple esos dos requisitos, y, sin embargo, no es un concepto válido en aritmética: su connotación es vacía, y también lo es su denotación, porque no satisface la definición de división numérica. Otro modo de formular esto: "*n*/0", con '*n*' que designa un número, no existe en la aritmética. Ahora bien, en el caso de un concepto formal, la existencia puede asegurarse ya poniéndola como primitiva en alguna teoría, ya definiéndola a base de las nociones primitivas de la teoría (sec. 3.4, [3.13]). Dicho brevemente: el criterio de validez científica aplicable a conceptos puros es la pertenencia a una teoría formal. Consiguientemente, las teorías lógicas y matemáticas no se juzgan por los conceptos que contienen, sino que, a la inversa, los conceptos se juzgan por la compañía en que se encuentran.

Volvamos ahora a los conceptos concretos, esto es, a los conceptos que tienen referencia espacio-temporal. "Adán" tiene una connotación exacta (suministrada por la descripción de la Escritura) y una denotación exacta, a saber, el conjunto vacío. Ese concepto no se admite en la historia científica precisamente porque no tiene correlato objetivo: ¿por qué van a molestarse los historiadores en dar razón de una no-entidad? Esto nos sugiere la siguiente *Definición 1*: "Un concepto no-formal intensional y extensionalmente preciso es válido si y sólo si tiene un *correlato real*, o sea, si denota una clase de objetos espacio-temporales". Esta regla descalifica a los fantasmas y consagra a los átomos. Pero el examen de varios casos mucho menos claros mostrará que no debe considerarse necesario adscribirlo todo a la existencia de correlato real. En primer lugar, necesitamos los conceptos llamados *tipos ideales*, como los de "cuerpo rígido", "sistema aislado", "jugador racional", conceptos de los que sabemos que no se corresponden sino aproximadamente con sus supuestos correlatos: en sustancia, la teoría científica empieza por idealizar los objetos reales, y rara vez –en el supuesto de que ocurra alguna– explica algo más que idealizaciones esquemáticas. En segundo lugar, la referencia de numerosos concep-

tos científicos es asunto discutido. Por ejemplo, ¿estamos seguros de que el tiempo uniforme establecido por nuestros relojes existe en el *mismo sentido* en que existen dichos relojes? ¿Seguiría existiendo si no hubiera relojes? En tercer lugar, tenemos que conservar la libertad de inventar conceptos nuevos para la construcción de teorías factuales cuya verdad puede no ser inmediatamente averiguable, de tal modo que haya que esperar bastante hasta poder contrastarlas, y que acaso entonces resulten, a lo sumo, parcialmente verdaderas. Teniendo en cuenta todas estas objeciones, resulta demasiado restrictiva la Definición 1, inspirada en un realismo ingenuo. Consiguientemente, consideraremos que la referencia real (extensión objetiva no vacía) es sólo una condición suficiente (no necesaria) de la validez científica.

La siguiente *Definición 2* suministra un criterio un poco más elaborado: "Un concepto no-formal intensional y extensionalmente preciso es válido si y sólo si denota *operaciones* posibles de alguna clase". Según este criterio (operativista) de validez conceptual, "masa" será un concepto válido si y cuando puede medirse masas. Como la masa de un cuerpo no acelerado no puede medirse, el concepto "masa de un cuerpo no acelerado" sería no-válido de acuerdo con esta definición. Consiguientemente habría que eliminar todas las teorías que suponen cuerpos y partículas libres. El operacionismo exigiría igualmente la eliminación de los conceptos de cero absoluto de temperatura, de número cuántico, de fase ondulatoria, de función de estado, de *spin* de una partícula libre, de adaptación, selección natural, filogénesis, estado mental, cultura, nación, ninguno de los cuales denota operaciones posibles. Con esto llegaríamos a eliminar todos los conceptos no-observacionales y a quedarnos con los observacionales sólo. Consiguientemente, la exigencia de referencia operativa daría lugar a la decapitación de la ciencia. Y como no deseamos este resultado, consideraremos la existencia de operaciones como criterio suficiente de la aplicabilidad de un concepto, con la condición de que las operaciones sean científicas: pues en otro caso cualquier acción consagraría como científica al correspondiente concepto.

Una versión aparentemente menos restrictiva del principio operativista de validez conceptual se recoge en la *Definición 3*: "Un concepto no-formal, intensional y extensionalmente preciso, que funcione como *primitivo* en una teoría, es válido si y sólo si denota entidades o propiedades *observables*". Con esto queda garantizada automáticamente la validez de los conceptos definidos. La diferencia respecto de la anterior definición consiste en esto: ahora sólo se exige que correspondan a observables los conceptos primitivos o no-definidos de una teoría. Aparentemente, esto no elimina a los conceptos trasempíricos: éstos se aceptan con la condición de que sean explícitamente definibles a base de las nociones observacionales primitivas. Pero esto es imposible: precisamente las nociones no-observables son las que tienen que aparecer como primitivas en una teoría, por dos razones: porque ninguna teoría se refiere directamente a situaciones observables, y porque es un objetivo de toda teoría el explicar lo observado, no simplemente resumirlo; y para alcanzar este objetivo las teorías científicas se construyen con conceptos teoréticos no-observacionales, precisamente porque son más fuertes que los observacionales. La Definición 3 nos permitiría tener conceptos trasempíricos sólo con la condición de definirlos todos a base de conceptos observacionales. Pero, por la definición de concepto trasempírico, esa reducción es imposible. Consiguientemente, la Definición 3 es tan letal para la teorización científica como la Definición 2.

Un defecto básico de los puntos de vista subyacentes a las anteriores definiciones es que manejan los conceptos aisladamente, como si fueran unidades autocontenidas, cuando son productos del análisis de proposiciones y teorías. En el caso del realismo ingenuo la razón de esto es la creencia en que todo concepto refleja un rasgo de la realidad. Pero esto no es verdad ni siquiera de todos los conceptos extralógicos: baste con recordar que una cantidad vectorial que representa una propiedad de dirección, como la fuerza, puede descomponerse conceptualmente de infinitos modos, según lo que convenga. Aunque la magnitud en su conjunto puede tener un correlato objetivo, ninguno de sus componentes refleja independientemente un rasgo de la realidad. En el caso del empirismo, la idea que subyace a la definición es la tesis de que los conceptos importantes para el conocimiento (los llamados conceptos cognitivamente significativos) son precisamente los que dan nombre a haces de perceptos, siendo estos últimos átomos de experiencia aislables. (Recuérdese el precepto de Hume: "Ninguna idea sin impresión anterior".) La mera existencia de conceptos trasempíricos fecundos, como los de género y campo, refuta esta doctrina. Ni tampoco es posible "inferir" los conceptos trasempíricos partiendo de conceptos observacionales –como sugiere el confusionario nombre *concepto inferido*–, porque sólo los enunciados pueden ser objeto de inferencia. Si puede establecerse algún vínculo entre conceptos, ello ocurrirá exclusivamente vía propositionis, y un tal vínculo se establece sólo en el seno de teorías contrastables. Una vez más vemos, pues, que no es posible juzgar conceptos prescindiendo de los sistemas en los que se presentan.

Sin duda hay una sana motivación detrás de las exigencias puestas a los conceptos científicos por el realismo ingenuo y por el empirismo, a saber: el deseo de evitar conceptos fantasmales como el de esencia metafísica o fuerza vital. Pero el modo adecuado para impedir su introducción de contrabando en el cuerpo de la ciencia no consiste en utilizar prejuicios filosóficos como aduaneros, sino en tomar en cuenta el entero contexto en el cual los conceptos en cuestión tienen que presentarse. Un tal contexto es un sistema científico –por lo menos, una hipótesis científica y, en el mejor de los casos, un sistema de hipótesis científicas (una teoría). Así, cuando decimos que "fantasma" no es un concepto científicamente válido no queremos decir simplemente que no existen fantasmas: muchos conceptos de la ciencia, como el de "desviación media", no tienen tampoco correlato real individualizable; y muchos otros que antiguamente se creían denotativos, como "tiempo absoluto" y "calórico", han resultado luego ser ficciones. Ni tampoco queremos decir que 'fantasma' sea un sin-sentido: su denotación está suficientemente determinada por el folklore. Ni diremos que no contiene experiencia: bastante gente pretende tener experiencia de fantasmas, y los datos empíricos, del tipo que sean, no son relevantes sino a la luz de hipótesis. "Fantasma" es inaceptable en la ciencia por la sencilla razón de que no hay ni puede haber una teoría científica de los fantasmas, o sea, un sistema contrastable y relativo a las leyes del comportamiento de entidades que, ya por hipótesis, no están sujetos a ley alguna. En resolución: "fantasma" no es un concepto científicamente válido porque no es un miembro de un sistema científico. Esta última afirmación se convierte en una tautología trivial si se acepta la siguiente convención, que es la *Definición 4*: "Un concepto intensional y extensionalmente preciso es científicamente válido si y sólo si es *sistemático* (o sea, si se presenta en un sistema científico)".

Suponemos que la última definición se aplica a todos los conceptos, puros o no; de

hecho, subsume el criterio de validez conceptual que hemos establecido antes para conceptos formales. Por tanto, lo que hemos hecho ha sido desplazar el entero problema de la validez de conceptos del terreno de la semántica al de la ciencia: corresponde al científico, y no al filósofo, el decidir si un determinado concepto es científico. Lo que puede hacer el filósofo es criticar al científico cuando éste viola esa regla fuera de su propio campo de especialización y toma la defensa de conceptos como el de fantasma. En segundo lugar, la Definición 4 no afecta primariamente a la cuestión de la significación de los signos: automáticamente garantiza la posesión de significación a todos los signos que nombran conceptos pertenecientes a alguna sistematización de hechos, especialmente a una teoría. Además, tampoco legisla acerca de la significación de signos que, como 'Dios', no pertenecen a la ciencia, pero son perfectamente significativos en otros contextos: a diferencia de las anteriores definiciones, la nuestra no se destina a obtener una fácil victoria (lingüística) sobre la teología. En tercer lugar, nuestro criterio no exige ni garantiza la verdad de las proposiciones y teorías construidas con conceptos científicamente válidos: podemos perfectamente trabajar con conjeturas cuyo valor veritativo ignoramos, siempre, ciertamente, que podamos mostrar la posibilidad de investigar sobre su valor veritativo. La refutación de una teoría científica no tiene, pues, por qué arrebatar validez a sus conceptos específicos: algunos de ellos, o hasta todos, pueden salvarse y utilizarse para construir una teoría más verdadera. Los conceptos que se presentan en teorías científicas moderadamente verdaderas, verosímiles, pueden llamarse conceptos *adecuados*.

La cuestión de la validez científica de los conceptos se convierte así en un asunto filosóficamente trivial, pese a ser un problema muy serio para los científicos. Nos hemos dado cuenta, además, de que, aunque desde un punto de vista lógico los conceptos son las unidades mínimas de pensamiento científico, no pueden estimarse aislándolos de los sistemas enteros: su validez, si la tienen, se deriva de su sistematicidad, de su presencia en un sistema que pueda someterse a contrastación para establecer su adecuación a los hechos y su coherencia con sistemas previamente contrastados. Por último, nos ha nacido la sospecha de que los esfuerzos de la filosofía empirista por reducir audaces conceptos hipotéticos a triviales conceptos observacionales son esfuerzos desorientados, no sólo porque se mueven contra la historia del desarrollo científico, sino, además, porque se trata de un programa lógicamente inviable. Pero esto nos ocupará en la parte II.

En la parte I, que termina aquí, hemos reunido algunos instrumentos de análisis necesarios para examinar metódicamente la estrategia de la investigación científica y la filosofía que se encuentra por detrás y por delante de ella. Emprendamos ahora esta tarea.

Problemas

3.7.1. Examinar las tesis del *fisicismo terminológico* ("Todos los términos deben denotar objetos espacio-temporales") y del *empirismo terminológico* ("Todos los términos deben ser términos de observación o conectables con ellos"). Cf. O. Neurath, *Foundations of the Social Sciences*, en *Encyclopedia of Unified Science*, vol. II, núm. 1, Chicago, University of Chicago Press, 1944, cap. I.

3.7.2. Es imposible aislar totalmente un sistema material en todos los respectos. ¿Debemos entonces eliminar el concepto de sistema cerrado, despojando de él a la ciencia?

3.7.3. No hay hombres medios: todas las medias son construcciones lógicas a partir de datos que se refieren a individuos, y la probabilidad de que un individuo cualquiera determinado coincida exactamente con todas las medias es prácticamente igual a cero. ¿Debemos descartar entonces los conceptos de hombre medio y hombre típico? *Problema en lugar del anterior*: No se ha visto hasta ahora, ni probablemente se verá nunca, un Pithecanthropus erectus. ¿Podemos aceptar como concepto científico el concepto "Pithecanthropus erectus"?

3.7.4. No es posible ver la propagación de la luz en el vacío: todo lo que podemos afirmar en base a la experiencia es que un determinado rayo de luz ha sido absorbido o emitido por un cuerpo determinado: lo demás es hipotético. ¿Es en esta situación científicamente válido el concepto de propagación de la luz en el vacío, que es un concepto primitivo de la óptica? *Problema en lugar del anterior*: Los psicólogos conductistas se han opuesto siempre al concepto de consciencia, porque este concepto no denota ningún rasgo del comportamiento observable. Por otra parte, los fisiólogos utilizan el término 'consciencia' (o, más propiamente, el de 'estado consciente') y se esfuerzan por descubrir la actividad neuronal que puede corresponderle: cf., por ejemplo, J. F. Delafresnaye (ed.), *Brain Mechanisms and Consciousness*, Springfield, Ill: Charles C. Thomas, 1954. ¿Qué hay que hacer? ¿Censurar a los fisiólogos por ignorar el operacionismo o criticar a los conductistas por confundir una buena regla de método ("No empezar la investigación con el estudio de la conciencia") con una regla de significación ("La palabra 'conciencia' es empíricamente un sin-sentido")?

3.7.5. El concepto de campo (gravitatorio, eléctrico, etc.) ha sido considerado superfluo porque lo que se observa no es nunca una intensidad de campo, sino el movimiento acelerado de un cuerpo experimental (por ejemplo, el desplazamiento de una pieza del electrómetro). Comentar ese hecho. *Problema en lugar del anterior*: El operacionismo y el intuicionismo matemático han exigido que todos los conceptos matemáticos sean constructivos: condenan todos los conceptos que, como el de infinito, no son efectivamente construibles, o sea, no son operativos. Estudiar las consecuencias de esa condena. Cf. M. Bunge, *Intuición y razón*, cap. 2, Buenos Aires, Sudamericana, 1996.

3.7.6. Examinar el concepto de tipo ideal, prominente en los escritos de Max Weber y otros sociólogos.

3.7.7. El concepto de progreso se considera a menudo no-científico porque supone una estimación. Examinar esa tesis. Indicación: empezar por hallar si toda estimación es necesariamente subjetiva. *Problema en lugar del anterior*: Los conceptos de realidad y de existencia han sido condenados por metafísicos. ¿Son superfluos en la ciencia y la filosofía?

3.7.8. Según la Df. 4, los conceptos "bondad", "amor" y "felicidad" no son científicos mientras no se disponga de teorías científicas de la bondad, el amor y la felicidad. ¿Deben quedarse en ese estado, o es posible y deseable hacerlos científicos? ¿Y dejarían de ser lo que son la bondad, el amor y la felicidad porque los correspondientes conceptos se sometieran a la ley de la ciencia?

3.7.9. ¿Son conceptos físicos los conceptos egocéntricos "Yo", "ahora" y "parece", y los conceptos antropocéntricos "dulce", "áspero" y "observable"? ¿Y serían científicamente válidos en algún otro contexto? En caso de respuesta afirmativa: ¿en cuál?

3.7.10. Recordar la división de los conceptos no-observacionales en variables intermedias y construcciones hipotéticas (cf. sección 2.6). Los pragmatistas, los fenomenistas y los convencionalistas aceptan las variables intermedias como útiles instrumentos, pero niegan validez científica a los conceptos que se refieren a entidades, propiedades o relaciones trasempíricas hipotetizadas: a lo sumo aceptarán construcciones hipotéticas a título de expedientes provisionales que un día u otro deben sustituirse por variables independientes o, cosa más deseable para ellos,

por conceptos observacionales. ¿Qué teorías científicas tendrían que suprimirse si se adoptara esa actitud? ¿Y qué significa la respuesta a esa pregunta para el lugar de la filosofía en la construcción y aceptación de teorías científicas? ¿Y cómo debería adoptarse una decisión respecto de esas dos clases de variables: en interés de alguna filosofía o en interés del progreso del conocimiento? *Problema en lugar del anterior*: Analizar las significaciones del término "interpretación" en los estudios sociales. En particular. ¿significa lo mismo para Dilthey que para Weber, y para éste que para Geertz? Y, en todo caso, ¿se justifica hablar del significado de un hecho social a menos que se suponga que todo lo social es un texto y que, por consiguiente, tiene propiedades sintácticas, semánticas, fonológicas y estilísticas? V. C. Geertz, *The Interpretation of Cultures*, Nueva York, Basic Books, 1973, y M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven, CT, Yale University Press, 1996 [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

BIBLIOGRAFÍA

Ajdukiewicz. K., "Die Definition", *Actes du Congrès International de Philosophie Scientifique*, París, Hermann, 1936, V.

Bunge, M., *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, cap. 1.

——, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

——, *Sense and Reference*, Dordrecht, Reidel, 1974.

Carnap, R., "Testability and Meaning", *Philosophy of Science*, *3*, 419, 1936, y *4*, 1, 1937.

——, *Logical Foundations of Probability*, Chicago, University of Chicago Press, 1950, cap. 1.

Cronbach, L.J., y P.E. Meehl, "Construct Validity in Psychological Tests", en H. Feigl y M. Scriven (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Minnesota, University of Minnesota Press, 1956, I.

Goodman, N., *The Structure of Appearance*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1951, cap. 1.

Hempel, C. G., *Foundations of Concept Formation in Empirical Science*, núm. 7 de la *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1952.

Lewis, C.I., *An Analysis of Knowledge and Valuation*, La Salle, Ill., Open Court, 1946, cap. V.

Margenau, H., *The Nature of Physical Reality*, Nueva York, McGraw-Hill, 1950, sec. 4.4.

Pap, A., *An Introduction to the Philosophy of Science*, Nueva York, The Free Press of Glencoe, 1962, parte I.

Russell, B., "Vagueness', *Australasian Journal of Psychology and Philosophy*, *1*, 84, 1923.

Tarski, A., *Logic, Semantics, Metamathematics*, Oxford, Clarendon Press, 1956.

PARTE II

LAS IDEAS CIENTÍFICAS

Un fragmento de investigación científica consiste en el manejo de un conjunto de problemas suscitados por un análisis crítico de alguna parte del conocimiento o por un examen de nueva experiencia a la luz de lo que ya se conoce o conjetura. Los problemas se resuelven aplicando o inventando conjeturas que, de ser contrastables, se llaman hipótesis científicas. A su vez, algunas hipótesis científicas se ascienden a veces a leyes, de las que se supone que reproducen estructuras objetivas; y las leyes se sistematizan en teorías. Así pues, el proceso creador de la ciencia arranca del reconocimiento de problemas y culmina con la construcción de teorías, cosa que a su vez plantea nuevos problemas, entre ellos el de la contrastación de las teorías. Todo lo demás es aplicación de las teorías: a la explicación, a la predicción o a la acción; o bien es contrastación de las teorías. Estudiemos ahora los miembros de esta secuencia central: Problema-Hipótesis-Ley-Teoría.

4. PROBLEMA

El conocimiento científico es, por definición, el resultado de la investigación científica, o sea, de la investigación realizada con el método y el objetivo de la ciencia. Y la investigación, científica o no, consiste en hallar, formular problemas y luchar con ellos. No se trata simplemente de que la investigación empiece por los problemas: la investigación consiste constantemente en tratar problemas. Dejar de tratar problemas es dejar de investigar, y hasta suspender el trabajo científico rutinario. La diferencia entre la investigación original y el trabajo rutinario consiste sólo en que la primera trabaja problemas originales, o estudia problemas viejos con planteamientos originales, mientras que el trabajo científico rutinario se ocupa de problemas de rutina, o sea, problemas de un tipo conocido y estudiados por un procedimiento conocido.

4.1. LA FUENTE DE LA CIENCIA

Parece que todos los vertebrados tienen cierta capacidad de notar problemas de algún tipo y de investigarlos en cierta dimensión. La psicología animal estudia el reflejo investigador o impulso exploratorio, un esquema de comportamiento –en parte innato y en parte adquirido– por el cual el animal percibe y examina ciertos cambios del medio con el fin de maximizar su utilidad o minimizar su peligro para el organismo. Todos los animales buscan cosas y modifican su comportamiento para eludir o resolver los problemas que les plantean nuevas situaciones, esto es, estados del mundo que no son fáciles de superar con el mero depósito de reflejos ya acumulado por ellos. Incluso pueden proyectarse y construirse máquinas para "percibir" y "resolver" ciertos problemas –o, más precisamente, para realizar operaciones que se hacen corresponder a dichos procesos. Pero sólo el hombre inventa problemas nuevos: él es el único ser problematizador, el único que puede sentir la necesidad y el gusto de añadir dificultades a las que ya le plantean el medio natural y el medio social. Aún más: la capacidad de "percibir" novedad, de "ver" nuevos problemas y de inventarlos es un indicador del talento científico y, consiguientemente, un índice del lugar ocupado por el organismo en la escala de la evolución. Cuanto más rentables son los problemas descubiertos, planteados y resueltos por un investigador, tanto mayor es la valía de éste. No hace falta que los resuelva todos: basta con que suministre –directa o indirectamente– a otros investigadores problemas cuya solución puede constituir un progreso relevante del conocimiento. Esto debe subrayarse en una época en la cual el descubrimiento de problemas se descuida en favor de la resolución de problemas. La *Opticks* de Newton, con sus 31 profundas "Queries"–problemas abiertos–, que ocupaban casi 70 páginas y suministraron problemas a la investigación durante todo un siglo, no debe considerarse como una obra científica importante por aquellos que no dan im-

portancia más que a la resolución de problemas y al conjunto de "conclusiones" obtenidas investigando las fuentes del trabajo.

La actitud problematizadora, característica de toda actividad racional, es la más visible de la ciencia y de la filosofía racionalista (es decir, crítica); dicho de otro modo: la ciencia y la filosofía racionalista consisten en un estudio crítico de problemas. Tomemos, por ejemplo, un objeto arcaico recién descubierto en un sitio arqueológico: puede ser una mercancía para el anticuario, un estímulo de sensaciones estéticas para el *connaisseur* de arte, y algo que sirve para llenar alguna caja del coleccionista. Pero para el arqueólogo aquel objeto puede convertirse en fuente de un ciclo de problemas. El objeto será "significativo" para el en la medida en que sea testimonio de una cultura extinguida, algunos de cuyos rasgos pueda inferir de un examen comparativo del objeto. Su forma, su constitución y su función pueden, en principio, explicarse con conjeturas (hipótesis) sobre el modo de vida y la mentalidad de la población que produjo y usó ese objeto.

En resolución, para el arqueólogo el objeto no será simplemente una cosa, sino que le planteará toda una serie de problemas, igual que el descubrimiento de ese objeto puede haber sido la solución de un problema previo. La solución de cualquier problema de ese tipo puede convertirse a su vez en punto de partida de una nueva investigación. Esas soluciones se llaman frecuentemente *conclusiones,* según una terminología desgraciada porque sugiere que se trata de conocimientos que cierran o concluyen la investigación, cuando, de hecho, suelen ser provisionales. Otras veces se llama *datos* a soluciones de problemas, lo cual es también erróneo, porque esos elementos no son nunca dados al científico, sino que éste los extrae, y a menudo los produce, en el curso de la investigación: lo realmente dado no suele plantear problemas y es, por tanto, de escasa relevancia científica.

Las tareas del investigador son: tomar conocimiento de problemas que otros pueden haber pasado por alto; insertarlos en un cuerpo de conocimiento e intentar resolverlos con el máximo rigor y, primariamente, para enriquecer nuestro conocimiento. Según eso, el investigador es un problematizador *par excellence,* no un traficante en misterios. El progreso del conocimiento consiste en plantear, aclarar y resolver nuevos problemas, pero no problemas de cualquier clase. Los escolásticos quedaron fuera del movimiento de invención que es la ciencia moderna porque estaba errado todo su modo de considerar la realidad; en su mayoría, temían los problemas nuevos, y, en general, la novedad como tal; los escolásticos padecían, por así decirlo, neofobia; los pocos problemas que consiguieron formular eran en su mayor parte de la clase inútil, esto es, o demasiado triviales o más allá de sus fuerzas, y, en cualquier caso, de formulación demasiado laxa; al no interesarse por el mundo, era muy difícil que pudieran plantear preguntas referentes al modo de funcionar de éste; y al ser dogmáticos, no sometían sus conjeturas a contrastación. En resolución: aunque algunos pocos escolásticos dieron de sí datos e hipótesis aceptables al servicio de un manojo de problemas científicos –especialmente de óptica y estática–, en general no produjeron problemas científicos propiamente dichos, o se dedicaron sólo a unos pocos problemas más bien triviales y aislados y con una finalidad primariamente práctica, como la medición del tiempo y la farmacología aplicada. La selección errada de los problemas, debida a su vez a una contemplación equivocada del mundo y de la investigación, es también la causa principal del fracaso de ciertas escuelas de pensamiento, como la biología vitalista, que ha trabajado con ciertas vagas nociones acerca de la vida,

la finalidad y los todos orgánicos, en vez de plantearse cuestiones concretas acerca de la constitución y el carácter de los organismos.

La selección del problema coincide con la elección de la línea de investigación, puesto que investigar es investigar problemas. En la ciencia moderna, la elección de grupos de problemas o de líneas de investigación está a su vez determinada por varios factores, tales como el interés intrínseco del problema según lo determina el estadio del conocimiento en cada momento, o la tendencia profesional de los investigadores afectados, o la posibilidad de aplicaciones, o las facilidades instrumentales y de financiación. Las necesidades prácticas son una fuente de problemas científicos, pero el insistir exageradamente sobre la aplicación práctica (por ejemplo, la industria o la política) a expensas del valor científico intrínseco, es a largo plazo esterilizador, y el plazo largo es lo que cuenta en una empresa colectiva como la ciencia. En primer lugar, porque los problemas científicos no son primariamente problemas de acción, sino de conocimiento; en segundo lugar, porque no puede realizarse trabajo creador más que con entusiasmo, y el entusiasmo puede fácilmente faltar si la línea de investigación no se elige libremente movidos por la curiosidad. Por eso la primera consideración a la hora de elegir líneas de investigación debe ser el interés del problema mismo. Y la segunda consideración debe ser la posibilidad de resolver el problema –o de mostrar que es irresoluble– contando con los medios disponibles.

Al igual que en la vida cotidiana, en la ciencia el planteamiento de grandes tareas acarrea grandes éxitos y grandes fracasos. Nadie puede esperar que preguntas superficiales y modestas reciban respuestas profundas y muy generales. El camino más seguro es sin duda la selección de problemas triviales. Los que buscan ante todo la seguridad deben escoger problemas pequeños; sólo los pensadores más amigos del riesgo tomarán el de gastar muchos años en luchar con problemas de grandes dimensiones que no les asegurarán ni continuidad ni ascensos en su carrera. Las revoluciones se han producido siempre en la ciencia pura por obra de personas de este carácter, más que por descubrimientos casuales de investigadores prolijos y sin imaginación dedicados a problemas aislados y reducidos. Incluso los descubrimientos casuales (como el de las "enanas blancas", obtenido durante el examen rutinario de espectros de estrellas) se deben a personas que estaban dispuestas a percibir cualquier novedad y cuya personalidad era conocida en este sentido: otros investigadores habrían visto lo mismo sin interpretarlo del mismo modo.

He aquí unos pocos ejemplos de tareas inconclusas: la unificación de la teoría de la gravitación con la microfísica; el problema de los tres cuerpos; la investigación de la estructura de las partículas elementales; la especulación acerca del origen de la vida, y la sintetización de los grandes componentes del protoplasma, y acaso de una unidad completa de materia viva; el establecimiento de teorías neurológicas de los procesos mentales; la construcción de teorías matemáticas de los procesos sociales básicos de las grandes comunidades, las cuales permitirían previsiones sociológicas precisas. Esos problemas son ambiciosos y, al mismo tiempo, parecen al alcance de nuestro siglo, como sugiere el hecho de que tengamos ya recogidos resultados preliminares.

No hay técnicas para elaborar problemas que sean a la vez profundos, fecundos y resolubles con medios prescritos. Pero pueden ser útiles los siguientes consejos: (*i*) Criticar soluciones conocidas, esto es, buscar puntos débiles en ellas: tienen que tener alguno, aunque no se hayan descubierto hasta el momento. (*ii*) Aplicar soluciones conocidas

a situaciones nuevas y examinar si siguen valiendo para éstas: si valen, se habrá ampliado el dominio de esas soluciones; si no valen, se habrá tal vez descubierto todo un nuevo sistema de problemas. (*iii*) Generalizar viejos problemas: probar con nuevas variables y/o nuevos dominios para las mismas. (*iv*) Buscar relaciones con problemas pertenecientes a otros campos: así, al estudiar la inferencia deductiva como proceso psicológico, preguntarse cómo puede ser su sustrato neurofisiológico.

Una vez propuesto un problema a la investigación, hay que estimar su valor. Pero tampoco se conocen reglas ya listas para estimar a priori la importancia de los problemas. Sólo los investigadores con experiencia, amplia visión y grandes objetivos pueden estimar con éxito los problemas, pero tampoco de un modo infalible. (La lista de problemas abiertos establecida por Hilbert en 1900 y que ha alimentado a generaciones enteras de matemáticos ha sido tan excepcional como las cuestiones ópticas de Newton.) En todo caso, además de la elección del problema adecuado, el éxito presupone la elección o el arbitrio de los medios indicados para resolverlo. O sea: la sabiduría en la elección de líneas de investigación se manifiesta en la selección de problemas que sean a la vez fecundos y de solución posible dentro del lapso de una vida humana. Y esto requiere un sano juicio u olfato que puede, sin duda, mejorarse cuando ya se tiene, pero no adquirirse sólo por experiencia. En este punto puede, por último, formularse un consejo muy general: empezar por formular cuestiones muy claras y restringidas; adoptar la penetración parcial en los problemas, en vez de empezar con cuestiones que abarquen mucho, como "¿De qué está hecho el mundo?", "¿Qué es el ente?", "¿Qué es el movimiento?", "¿Qué es el hombre?", o "¿Qué es el espíritu?" Las teorías universales se conseguirán –si se consiguen– como síntesis de teorías parciales construidas como respuestas a sistemas problemáticos modestos, aunque no triviales.

En resumen: los problemas son la fuente de la actividad científica, y el nivel de investigación se mide por la dimensión de los problemas que maneja.

Problemas

4.1.1. Comentar el siguiente fragmento de I. P. Pavlov, *Conditioned Reflexes*, Nueva York, Dover Publications, 1960 (ed. original 1927), p. 12: "...puede llamarse el *reflejo de investigación*. Le llamamos el reflejo del '¿Qué es?' Este reflejo produce la respuesta inmediata, en el hombre y en los animales, a los mínimos cambios del mundo que los rodea, de tal modo que orientan inmediatamente el órgano receptor adecuado, en concordancia con la cualidad perceptible del agente productor del cambio, y hacen una completa investigación del mismo. Es obvia la importancia biológica de este reflejo. Si el animal careciera de él, su vida dependería en todo momento de un hilo". Más información sobre ese instinto de exploración en S. A. Barnett, "Exploratory Behaviour", *British Journal of Psychology*, *49*, 289, 1958.

4.1.2. ¿Son los dogmáticos una excepción a la ley según la cual todos los vertebrados son capaces de plantearse problemas? ¿O se caracterizan más bien por eludir o eliminar deliberadamente los problemas (y a veces por eliminar a los descubridores mismos de esos problemas)? *Problema en lugar del anterior:* ¿Cuáles son las diferencias entre un problema social y un problema sociológico? ¿Puede la solución de un problema sociológico ser útil para resolver el problema social correspondiente (en los casos en que existe tal correspondencia)?

4.1.3. ¿Por qué la mayoría de las exposiciones filosóficas de la investigación científica empiezan por tratar la obtención de datos (por medio, por ejemplo, de la medición), o la explicación, o la inferencia? *Problema en lugar de ése*: ¿Se equivocaron los escolásticos medievales al dedicarse a los problemas del ser, la potencia, el acto, el devenir y la causa? ¿O más bien erraron por no buscar variables específicas (como el concepto de masa) y sus relaciones mutuas (leyes)?

4 1.4. ¿Confirma la invención de problemas la tesis pragmatista de que el objetivo de la ciencia es la economía de trabajo y, en general, la simplificación? *Problema en lugar de ése*: ¿Confirma la función radical del problema en la ciencia la tesis empirista de que la experiencia origina todo conocimiento?

4 1.5. Comentar W. H. Whyte, Jr., *The Organization Man*, Garden City, Nueva York, s. a. [1956], cap. 16: "The Fight Against Genius", y particularmente los efectos de la planificación científica mezquina de la investigación, la cual excluye la libre elección de problemas por considerarlos dictada por la "huera" curiosidad.

4.1.6. Dar ejemplos de concretos proyectos de investigación fracasados por una mala elección de los problemas o por su formulación defectuosa (por ejemplo laxa). *Problema en lugar de ése*: Comparar las concepciones de la creatividad científica expresadas por A. Szent-György, en *Perspectives in Biology and Medicine*, V, 1962, 173, con las de lord Adrian, *ibid.*, 269.

4.1.7. ¿Qué es más importante para determinar el valor de una investigación experimental: la dimensión y la formulación de los problemas? *Problema en lugar de ése*: Examinar e ilustrar el papel de la frónesis (sano juicio prudente) en la selección de problemas.

4.1.8. W. K. Roentgen (1985) observó que las placas fotográficas se velaban cuando estaban cerca de tubos de rayos catódicos. Otros antes que él habían observado el mismo hecho, o sea, que Roentgen no tenía ningún especial conjunto de datos nuevos como punto de partida. ¿Por qué descubrió él precisamente los rayos X? ¿Y qué quiere decir 'haber descubierto' los rayos X?

4.1.9. Comentar los siguientes artículos: A. Weinberg, *Science*, *134*, 161, 1961, sobre el problema de la elección de líneas de investigación probablemente fecundas; y P. Weiss, *Science*, 136, 468, 1962, sobre investigación trivial y la alternativa volumen/calidad. *Problema en lugar de ése*: Citar líneas contemporáneas de investigación comparativamente triviales (problemas grises) y otras que son profundas

4.1.10. Examinar la siguiente afirmación del premio Nobel I. I. Rabi, en E. Fermi, *et al.*, *Nuclear Physics*, Philadelphia, University of Pennsylvania Press, 1941, p. 25: "La animada situación de la física nuclear queda indicada por el hecho de que los más recientes resultados experimentales parecen traer un problema nuevo por cada problema resuelto." Intentar establecer un criterio de la vitalidad de una ciencia como función de la tasa de emergencia de problemas nuevos en ella. *Problema en lugar del anterior*: Se ha definido la "inteligencia" como la capacidad de elaborar información. Si se elige esta definición, puede decirse que las calculadoras automáticas son inteligentes. ¿Es este concepto de inteligencia más adecuado que el tradicional, el cual la identifica con la capacidad de "ver", plantear explícitamente y resolver problemas nuevos?

4.2. *LÓGICA DE PROBLEMAS

El término 'problema' designa una dificultad que no puede resolverse automáticamente, sino que requiere una investigación, conceptual o empírica. Un problema es, pues, el primer eslabón de una cadena: Problema-Investigación-Solución. Los problemas humanos son problemas de acción, o conocimiento, o estimación, o dicción; en las ciencias factuales

se encuentran las cuatro clases de problemas, pero es claro que los centrales son los de conocimiento. Cualquiera que sea la naturaleza de un problema humano, pueden distinguirse en él los siguientes aspectos: (*i*) el problema mismo, considerado como un objeto conceptual diferente de un enunciado, pero, epistemológicamente, del mismo rango; (*ii*) el acto de preguntar (aspecto psicológico), y (*iii*) la expresión del problema mediante un conjunto de sentencias interrogativas o imperativas en algún lenguaje (aspecto lingüístico). El estudio del preguntar es propio de la psicología (incluida la de la ciencia), mientras que el estudio de las preguntas como objetos lingüísticos (sentencias que empiezan y terminan con signos de interrogación) pertenece a la lingüística. Aquí nos interesan los problemas como clase de ideas, bastante despreciada en este aspecto (aún más: la más ignorada) analizables con la ayuda de otras ideas.

En todo problema aparecen ideas de tres clases: el fondo y el generador del problema, y su solución si existe: Considérese el problema "¿Quién es el culpable?" El problema presupone la existencia de un culpable; está engendrado por la función proposicional "x es el culpable", en la cual x es la incógnita que hay que descubrir; y el problema suscita una solución de la forma "c es el culpable", en la que 'c' es el nombre de un individuo determinado. Dicho de otro modo, nuestro problema es "¿Cuál es el x tal que x es el culpable?", o bien, para abreviar, "$(?x)C(x)$". El generador de la pregunta es $C(x)$ con el presupuesto $(\exists x)\,[C(x)]$; mientras que la solución es $C(c)$. Lógicamente, pues, tenemos la siguiente secuencia: (1) *Generador*: $C(x)$; (2) *Presupuesto*: $(\exists x)\,[C(x)]$; (3) *Problema*: $(?x)C(x)$; (4) *Solución*: $C(c)$.

En general, todo problema se plantea respecto de un cierto *fondo* previo constituido por el conocimiento preexistente y, en particular, por los presupuestos específicos del problema. Los *presupuestos* del problema son las afirmaciones que están de un modo u otro implicadas, pero no puestas en tela de juicio, por la formulación del problema y la investigación por él desencadenada. Además, todo problema puede considerarse como engendrado por un conjunto definido de fórmulas. El *generador* de un problema es la función proposicional que da el problema al aplicar a dicha función el operador "?" una o más veces. Por último, todo problema tiende a producir un conjunto de fórmulas –la *solución* del problema– que, cuando se insertan en el generador del problema, convierten a este último en un conjunto de enunciados con un determinado valor veritativo.

A primera vista, una cuestión como "¿Es p verdadero?" no encaja en ese esquema: es un problema engendrado por p mismo, que se supone ser una proposición, no una función proposicional. Pero es claro que "$?p$" puede parafrasearse así: "¿Cuál es el valor veritativo de p?" En símbolos: $(?v)\,[V(p) = v]$, formulación en la cual V proyecta las proposiciones p sobre sus valores veritativos, v. Si esos valores son exclusivamente verdad $(+1)$ y falsedad (-1), o sea, si V se reduce a la función ordinaria de valoración, la pregunta inicial no habrá sido modificada por la reformulación que acabamos de hacer. Pero si se admite que v tome otros valores dentro de esos límites, entonces la nueva formulación del problema es más general que la sencilla versión "¿Es p verdadero?", la cual presupone que una proposición no puede ser más que verdadera o no verdadera. En cualquier caso, las cuestiones referentes a valores veritativos presuponen alguna teoría de la verdad, y son preguntas acerca del valor de una variable individual.

Los huecos que se presentan en un problema pueden ser variables individuales

covariables predicativas. En la pregunta "¿Quién descubrió América?", engendrada por la función $D(x, a)$, la única incógnita es una variable individual. Análogo es el caso de la pregunta "¿Dónde está *c*?", que supone el concepto cuantitativo de lugar. Por otro lado, un problema como "¿Qué aspecto tiene *c*?" nos lleva a buscar el conjunto de propiedades *P*, desconocidas hasta el momento, que constituyen el aspecto del individuo *c*. Simbolizaremos esta forma de pregunta del siguiente modo: '$(?P)P(c)$'. Las preguntas que se refieren al valor, o a los valores, de una o más variables individuales pueden llamarse *problemas sobre individuos,* y las que preguntan los valores de una o más variables predicativas pueden llamarse *problemas sobre funciones.* Todo problema es de una de esas dos clases.

¿Qué hay entonces de problemas de la forma "¿Tiene *c* la propiedad *A*?", en los que no se aprecia variable alguna? Ocurre que hay una variable oculta: es el valor veritativo de la proposición "*c* tiene la propiedad *A*". Ese problema está efectivamente engendrado por la función "El valor veritativo del enunciado '*c* tiene la propiedad *A*' es *v*", y resolver ese problema es hallar el concreto valor de *v*. Por tanto, la formulación explícita del problema es: "¿Cuál es el valor veritativo del enunciado '*c* tiene la propiedad *A*'?"

Análogamente, todas las preguntas relativas a la existencia o la universalidad pueden considerarse como problemas acerca de los valores veritativos de los enunciados existenciales o universales correspondientes. Así, por ejemplo, "¿Hay gravitones?" puede reformularse en la forma "¿Es verdad que hay gravitones?", y, más precisamente: "¿Cuál es el valor veritativo de la proposición '¿Hay gravitones?'?" Así también "¿Cambia toda cosa?" es equivalente a "¿Es verdad que toda cosa cambia?", formulación que puede convertirse en "¿Cuál es el valor veritativo de la proposición 'Toda cosa cambia'?"

¿Qué decir del problema "¿Qué es *A*?", cuando '*A*' denota una constante predicativa? *Aquí también hay una variable oculta que es necesario explicitar para completar la pre*gunta; lo que se pregunta, en efecto, es: "¿Cuáles son las propiedades *P* de *A*?", o $(?P)P(A)$, para abreviar, con '*P*' para designar un predicado (conjunto de ellos) de orden superior al de *A*. Se trata de un problema sobre funciones, la respuesta al cual está constituida por un conjunto de enunciados que predican determinadas propiedades de *A*.

La conclusión que podemos inferir de los anteriores casos, todos ellos caracterizados por la aparente ausencia de variables en las preguntas, es bastante clara: no hay que dejarse engañar por el lenguaje; *cherchez la variable.* Obsérvese, además, que el signo de interrogación, manejado aquí como un concepto primitivo, afecta siempre a una incógnita o variable del tipo individual o del tipo predicativo. Además, "?"–tal como lo usamos en la simbolización, representando también a "¿"–no liga la variable a la que afecta, pues el mero plantear una cuestión no es resolverla. Sólo la respuesta, o sea, la solución, carecerá ya de variables libres.

En la tabla 4.1 se encuentran algunas formas típicas elementales de preguntas, y se muestra su forma lógica. En esa tabla *c* y *d* son constantes individuales, *x* y *v* variables individuales; *A*, *B* y *C* son constantes predicativas, y *P* es una variable predicativa. La tabla es ilustrativa y no agota el tema.

En cada una de las formas problemáticas que figuran en la tabla aparece una sola incógnita, mientras que en las respuestas no se presenta ninguna. Esto caracteriza los *problemas determinados,* bien definidos, opuestos a los problemas mal definidos o indeter-

minados. Estos últimos tienen respuestas indeterminadas, o sea, respuestas en las cuales se presentan variables libres. Una pregunta determinada tiene una sola respuesta y sin incógnitas, aunque la respuesta puede consistir en una conjunción de enunciados. Por ejemplo, la pregunta "$(?x)\,(x^2 - x = 0)$" tiene una sola respuesta, que consta de dos miembros, a saber, las raíces 0 y 1 de la ecuación. En cambio, el problema "$(?x)\,(x^2 - x + y = 0)$" es indeterminado, porque la incógnita y sigue libre después de haber fijado x. Puede hacerse determinado asignando a y un valor definido o prefijándole un signo de interrogación que afecte a esa segunda variable. Efectivamente, "$(?x)\,(?y)\,(x^2 - x + y = 0)$" es una pregunta determinada, con una sola respuesta que consta de una infinidad de pares $\langle x, y\rangle$. En resolución: una pregunta determinada tiene una sola respuesta sin variables libres, y esta respuesta puede ser *de un solo miembro* (como en el caso "¿Cuál es el valor de $y = x^3$ para $x = 0{,}001$?") o *de varios miembros* (como en el caso de "¿Cuáles son las razas humanas?").

TABLA 4. 1. FORMAS ELEMENTALES DE PROBLEMAS

Clase de problemas	*Pregunta*	*Forma*	*Forma de la solución*
		Sobre individuos	
Problema del quién	¿Quién es (quiénes son) el (los) x tal (tales) que $A(x)$?	$(?x)A(x)$	$x = c, d, \ldots$
Problema del dónde	¿Dónde (en qué lugar) está el c tal que $A(c)$?	$(?x)\,[A(c) \rightarrow B(c) = x]$	$x = d$
Problema del porqué	¿Cuál es el p tal que q porque p (o sea, que p acarrea q)?	$(?p)\,(p \vdash q)$	$p \equiv c$
Problema de la alternativa	¿Cuál es el valor veritativo de p?	$(?v)\,[V(p) = v]$	$v = a$
	¿Confirma c a d?	$(?v)\,[V[C(c, d)] = v]$	$v = a$
		Sobre funciones	
Problema del cómo	¿Cómo ocurre c, que es un A?	$(?P)\,[A(c) \rightarrow P(c)]$	$P(c) \equiv B(c)$
Problema del cuál	¿Cuáles son las propiedades de c?	$(?P)\,P(c)$	$P(c) \equiv A(c)$
	¿Cuáles son las propiedades de la propiedad A?	$(?P)\,P(A)$	$P(A) \equiv B(A)$

No se pueden conseguir respuestas determinadas más que si se formulan preguntas determinadas. La pregunta "¿Cuál es la longitud de esta varilla'?" tendrá una sola respuesta con la condición de que 'esta' sea un nombre no ambiguo en el contexto dado, y con la de que el sistema de referencia, la unidad de longitud, la temperatura y la presión se hayan indicado. La pregunta "¿Dónde está c?" no está completamente determinada: un hombre ('c' en este caso) no individualiza nada como no sea en un contexto; tenemos que indicar el conjunto de propiedades A que identifican a c, y preguntar entonces: "¿Dónde está el c tal que c es un A?", o bien: "Dado que c es un A, ¿dónde está c?". Suponiendo que la posición de c pueda fijarse con un simple número (valor de una coordenada sola), la forma de esta pregunta, una vez completada, sería "$(?x)\ [A(c) \rightarrow B(c) = x]$", con B para designar el concepto cuantitativo de posición. En resolución: todas las variables relevantes que se presentan en un problema deben explicitarse para asegurar la determinación de aquél, a menos que el contexto ponga en claro cuáles son los valores de esas variables.

Todas esas observaciones informales pueden resumirse en la siguiente *Definición:* Un problema está *bien formado* si y sólo si satisface todas las *reglas de formación* siguientes:

REGLA 1. El generador de un problema bien formado contiene tantas variables como incógnitas.

REGLA 2. El generador de un problema bien formado lleva prefijados tantos signos de interrogación cuantas son las variables.

REGLA 3. Todo problema elemental bien formado tiene alguna de las formas siguientes:

$$(?x)\ (\ldots x \ldots),\ (?P)\ (\ldots P \ldots), \qquad [4.1]$$

en las cuales x es la variable individual que se presenta en el generador $(\ldots x \ldots)$ y P es la variable predicativa que se presenta en el generador $(\ldots P \ldots)$.

REGLA 4. Todo problema bien formado no elemental es una combinación de problemas elementales bien formados.

La Regla 3 equivale a la estipulación de que todo problema, si es bien formado y no contiene más que una incógnita, tiene que ser sobre individuos o sobre funciones. La Regla 4 permite problemas que contengan varias incógnitas, individuales o funcionales. La palabra 'combinación', que aparece en la formulación de esa regla, es vaga, y no podemos esperar su precisión sino de una lógica de problemas plenamente desarrollada. No obstante, las siguientes observaciones pueden ser útiles para dilucidar la significación de 'combinación de problemas'.

*Llamemos $\Pi(x)$ a un problema elemental sobre individuos, y $\Pi(P)$ a un problema elemental sobre funciones. Los dos problemas pueden ser subsumidos bajo uno solo haciendo abstracción del tipo de la variable, o sea, introduciendo el concepto de variable v *tout court:* $\Pi(v)$. Todo problema elemental $\Pi(v)$ puede analizarse en la forma $\Pi(v) = (?v)G(v)$, siendo $G(v)$ el generador del problema. Supongamos ahora que los dos problemas elementales que deseamos combinar con $\Pi(v_1) = (?v_1)G_1,(v_1)$ y $\Pi(v_2) = (?v_2)\ G_2(v_2)$. Construimos un tercer problema $\Pi(v_1, v_2)$, que incluye las dos variables v_1 y v_2, por el mero hecho de ponernos la tarea de resolver $\Pi(v_1)$ o $\Pi(v_2)$ o ambos; este problema

compuesto puede llamarse problema *disyuntivo* y puede simbolizarse así: '$\Pi(v_1)$ *vel* $\Pi(v_2)$'. Análogamente, podemos conseguir un cuarto problema, del todo diferente, $\Pi(v_1,v_2)$, por el procedimiento de imponernos la tarea de resolver $\Pi(v_1)$ y $\Pi(v_2)$; puede llamarse a este problema *conjuntivo*, y simbolizarse: '$\Pi(v_1)$ *et* $\Pi(v_2)$'. En el primer caso, la solución del problema compuesto será la disyunción de los problemas elementales. Llamando a y b a los valores obtenidos para las variables v_1 y v_2, respectivamente, la solución, $S(a,b)$, de un problema disyuntivo binario será: $G_1(a) \vee G_2(b)$. Análogamente, la solución del problema conjuntivo será la conjunción de las soluciones de los problemas elementales; en el caso de un compuesto binario: $S(a, b) = G_1(a) \ \& \ G_2(b)$. Expresado brevemente:

Problema disyuntivo

$$\Pi(v_1,v_2) = [\Pi(v_1) \ vel \ \Pi(v_2)] \leftrightarrow \{S(a, b) = [G_1(a) \vee G_2(b)]\} \qquad [4.2]$$

Problema conjuntivo

$$\Pi(v_1,v_2) = [\Pi(v_1) \ et \ \Pi(v_2)] \leftrightarrow \{S(a, b) = [G_1(a) \ \& \ G_2(b)]\} \qquad [4.3]$$

Sobre la base de esas operaciones binarias o diádicas pueden construirse formas problemáticas más complejas. A la inversa, todo problema dado puede analizarse hasta conseguir problemas más simples relacionados por '*vel*' y/o '*et*'. Así, por ejemplo, un problema de tres variables (o triatómico) puede analizarse de uno de los modos siguientes:

$$\Pi_1 \ vel \ \Pi_2 \ vel \ \Pi_3, \qquad \Pi_1 \ et \ \Pi_2 \ et \ \Pi_3$$
$$\Pi_1 \ vel \ (\Pi_2 \ et \ \Pi_3), \qquad \Pi_1 \ et \ (\Pi_2 \ vel \ \Pi_3)$$

Es claro que los functores *vel* y *et* cumplen las leyes asociativa y conmutativa. Por tanto, las dos últimas fórmulas pueden desarrollarse del modo siguiente:

$$\Pi_1 \ vel \ (\Pi_2 \ et \ \Pi_3) = (\Pi_1 \ vel \ \Pi_2) \ et \ (\Pi_1 \ vel \ \Pi_3) \qquad [4.4]$$
$$\Pi_1 \ et \ (\Pi_2 \ vel \ \Pi_3) = (\Pi_1 \ et \ \Pi_2) \ vel \ (\Pi_1 \ et \ \Pi_3), \qquad [4.5]$$

lo cual, a su vez, puede generalizarse para cualquier número de constituyentes elementales.

Hasta este punto son visibles las analogías entre el cálculo de enunciados y el cálculo de problemas (aún no construido). Esas analogías pueden subrayarse aún más introduciendo el concepto de negación de un problema (expresada por una pregunta negativa). Lo haremos mediante la *Definición*: Si $G(v)$ es el generador de $\Pi(v)$, entonces *no* $\Pi(v) =$ $= (?v) \ [-G(v)]$. A menudo es conveniente pasar del problema dado a su negación. Por ejemplo, "¿Qué elementos químicos son nobles?" puede sustituirse por "¿Qué elementos químicos entran en compuestos?", que es la negación del anterior. Con la ayuda del concepto de negación de un problema y con la de las fórmulas anteriores, puede analizarse todo problema hasta convertirlo en la conjunción (disyunción) de disyunciones (de conjunciones) de problemas más simples.

Además de los compuestos de problemas elementales conseguidos mediante las *operaciones vel* y *et*, admitimos las *relaciones* diádicas de implicación y equivalencia entre

problemas. Diremos que Π_1 *implica* Π_2 precisamente en el caso de que el generador de Π_1 implique el generador de Π_2; y diremos que los problemas son *equivalentes* si lo son sus generadores respectivos. En símbolos:

$$\textit{Implicación de problemas}: \quad (\Pi_1\ seq\ \Pi_2) \leftrightarrow (G_1 \rightarrow G_2) \qquad [4.6]$$

$$\textit{Equivalencia de problemas}: \quad (\Pi_1\ aeq\ \Pi_2) \leftrightarrow (G_1 \rightarrow G_2) \qquad [4.7]$$

En el caso más sencillo, $v_1 = v_2$; en casos más complicados, v_1 será un conjunto de variables que incluye a v_2 como subconjunto. Ejemplo de implicación de problemas: El problema consistente en hallar el valor veritativo de un enunciado implica el problema consistente en hallar si esa misma proposición es verdadera. Ejemplo de equivalencia de problemas: el problema consistente en deducir el condicional $A \rightarrow C$ a partir de la(s) premisa(s) P es equivalente al problema que consiste en derivar la consecuencia C a partir de la premisa reforzada P & A. Efectivamente: $\Pi_1 = (?v_1)\ [V(P \vdash A \rightarrow C) = v_1]$, y $\Pi_2 = (?v_2)\ [V(P \,\&\, A \vdash C) = v_2]$, por tanto: $G_1(v_1) = [V(P \vdash A \rightarrow C) = v_1]$, y $G_2(v_2) =$ $= [V(P \,\&\, A \vdash C) = v_2]$. Por definición de implicación, G_1 es equivalente al enunciado según el cual $P \rightarrow (A \rightarrow C)$ es lógicamente verdadero (tautológico); pero, por la ley de exportación, $P \rightarrow (A \rightarrow C)$ es equivalente a $P \,\&\, A \rightarrow C$. Por tanto, decir que $P \rightarrow (A \rightarrow C)$ es tautológico es lo mismo que decir que lo es $P \,\&\, A \rightarrow C$. Ahora bien: esto último es precisamente G_2, q. e. d.

Por último, si G_2 puede deducirse de G_1, o sea, si G_1 *implica* G_2, diremos que Π_1 es *más general* (o *más fuerte*) que, o tan general (o tan fuerte) como Π_2. En símbolos:

$$(\Pi_1 \geq \Pi_2) \leftrightarrow (G_1 \rightarrow G_2) \qquad [4.8]$$

Por ejemplo, los problemas dinámicos son más fuertes que los correspondientes problemas cinemáticos, porque los generadores (y, por tanto, las soluciones) de los últimos pueden derivarse de los correspondientes generadores de los primeros. Es obvio que tenemos que preferir las preguntas más fuertes, ya que éstas posibilitarán las soluciones más fuertes.

La división de los problemas en problemas sobre individuos y problemas sobre funciones no se aplica más que a problemas elementales o *atómicos*. La Regla 4 permite el enunciado de problemas no elementales, o *moleculares*, los cuales pueden ser a la vez sobre individuos (por lo que hace a cierto conjunto de variables) y sobre funciones (por lo que hace a otro grupo de variables). Nuestra clasificación de formas problemáticas elementales atraviesa así otras divisiones propuestas en el curso de la historia. Las mejor conocidas son la de Aristóteles y la de Papo. Aristóteles distinguía entre problemas del *qué* o cuestiones de hecho, y problemas de *alternativa,* o cuestiones dialécticas. Pero desde un punto de vista lógico no hay diferencia entre el problema "¿Cuál es la distancia entre *a* y *b*?", que es una pregunta de hecho, y el problema "¿Implica *a* a *b*?", que es una pregunta dialéctica. Los dos son problemas sobre individuos. El primero pregunta cuál es el valor de la función $D(a, b)$, el último cuál es el valor de la función $V(a \rightarrow b)$, y en ambos casos se trata de una variable individual. La diferencia entre los dos problemas no es lógica,

sino metodológica: la respuesta a cada uno de esos problemas exige un método distinto. Papo distinguía entre problemas de construcción (por ejemplo: "Hallar la media de un conjunto de números dados") y problemas referentes a las consecuencias lógicas de supuestos. Esta distinción ha sido reelaborada recientemente y difundida por G. Pólya, con los nombres de *problemas de hallar* y *problemas de demostrar*, respectivamente. Los primeros son un subconjunto de los que Aristóteles llamó problemas del *qué*, mientras que los problemas de demostrar se incluyen en sus cuestiones de alternativa, o dialécticas. Además, los problemas de demostrar son un subconjunto de los problemas de hallar, puesto que demostrar un teorema consiste en hallar un conjunto de supuestos que impliquen el teorema dado, y esto, según nuestra clasificación, es un problema sobre individuos. La diferencia entre unos y otros no es lógica ni metodológica, sino ontológica: la solución de un "problema de hallar" consiste en presentar un objeto que no sea un enunciado, mientras que los "problemas de demostrar" se refieren a enunciados y a sus relaciones lógicas.

Nuestra clasificación de los problemas elementales no concede tampoco ningún lugar especial a los *problemas de decisión,* esto es, problemas cuya solución es un simple "Sí" o un simple "No". Los problemas de decisión son casos especiales de problemas sobre individuos, particularmente de los que se refieren a la determinación de valores veritativos. La cuestión '¿Es p verdadero?' expresa un problema de decisión, igual que la pregunta "¿Pertenece c al conjunto T?", que no es más que un caso de la anterior, a saber, el caso en el cual p toma la forma "$c \in T$". La cuestión de si un problema dado es o no un problema de decisión no es una cuestión lógica sino metodológica: los medios disponibles y el objetivo considerado nos permitirán decidir acerca de si determinados problemas son cuestiones de sí-o-no. Tomemos, por ejemplo, el problema "¿Qué estatura tiene c?", siendo c un hombre determinado. Por rebuscada que sea la técnica de talla que elijamos, la pregunta inicial puede descomponerse en una secuencia finita, cada miembro de la cual es un problema de decisión de la forma: "¿Cae el punto más alto de la cabeza de c entre las señales n y $n + 1$ de nuestro tallímetro?" Cada mejoría en cuanto a precisión nos permitirá formular más preguntas de decisión y, por tanto, acercarnos más a la verdad (supuesta única), pero el error remanente de todo procedimiento de medición asegura que habrá un número finito de problemas de decisión. Esa finitud es, naturalmente, necesaria para que el procedimiento sea *efectivo,* es decir, realizable en un número determinado de pasos. La solución exacta del problema dado requeriría infinitos pasos y es, por tanto, inalcanzable.

La esperanza de todo científico empírico (y del que cultiva la matemática aplicada) es que, por complejo que sea, su problema podrá ser reducido a una *secuencia finita de problemas de decisión.* El logro de ese triunfo metodológico disimula en realidad una derrota epistemológica: un problema fuerte, como el de identificar un miembro de un conjunto infinito no numerable, se ha sustituido por un conjunto finito de problemas más débiles, como el de decidir si un determinado individuo pertenece a un conjunto dado. Pero aquí no hay elección: o emprendemos la resolución del problema débil o nos quedamos con el problema fuerte sin resolver.

Atendamos ahora al aspecto semántico de los problemas. La sujeción a las Reglas 1-4 es necesaria, pero no suficiente, para asegurar que se formulan preguntas determina-

das, esto es, preguntas con una sola respuesta (aunque acaso de varios miembros). Pues un problema puede estar bien formado, pero tener un fondo vagamente indicado, o tenerlo defectuoso. Por ejemplo, la pregunta "¿Es *p* verdadero?" está bien formada, pero al formularla presuponemos que *p* tiene o puede recibir un solo valor veritativo, lo cual no es en modo alguno obvio, porque *p* puede ser falso en un sistema y verdadero en otro. Análogamente, el problema "¿Cuál es el punto de fusión del azufre?", presupone que el azufre tiene un solo punto de fusión, cualquiera que sea su forma cristalina, y eso es falso. Nunca puede plantearse una pregunta sin presuponer algo. El plantear mero presupone nuestra propia existencia, y el preguntar acerca del comportamiento de las cosas presupone por lo menos la posibilidad de la existencia de éstas y la posibilidad de que las conozcamos en alguna medida.

Como no hay pregunta sin un trasfondo, y como éste puede constar de falsedades, o de ideas debatibles, la aceptación ingenua de una pregunta sin examinar su trasfondo no tiene más valor que la aceptación ingenua de una respuesta sin examinar su fundamento. El planteamiento defectuoso de una cuestión –esto es, la formulación de una pregunta mal formada– puede impedir la investigación concreta, o incluso toda investigación, como ocurre en el caso de "¿Qué es el ser?", pregunta que, lejos de ser análoga a la pregunta "¿Qué es el movimiento?", es del tipo de "¿Qué tose la tos?" Pero la concepción defectuosa de una pregunta –es decir, el pensar una pregunta con un trasfondo errado o indeterminado– puede ser aún más confusionaria, porque puede lanzar la investigación por una vía estéril. Así, la pregunta "¿Cuál es la garantía de la verdad?" ha producido una especulación infinita y estéril al suponer que hay efectivamente una garantía de la verdad y que se trata sólo de descubrirla.

Afirmaremos las convenciones siguientes por lo que hace al trasfondo de los problemas. En primer lugar, la siguiente *Definición*: Un problema está *bien concebido* si y sólo si ninguno de sus presupuestos es una fórmula manifiestamente falsa o indecidida en el mismo contexto. Segunda *Definición*: Un problema está *bien formulado* (es consistente, adecuado) si y sólo si está *bien formado* (de acuerdo con las Reglas 1-4) y *bien concebido*. Con estas definiciones podemos formular nuestra última prescripción:

REGLA 5. Todo problema debe estar bien formulado.

Un problema bien formulado será determinado (bien definido): tendrá una solución única y, al tener explícitos todos los elementos relevantes, sugerirá por lo menos qué investigaciones pueden ser útiles para resolverlo. Pero sería ingenuo suponer que el mero respeto de las Reglas 1-5 vaya a garantizarnos que no planteamos más que cuestiones bien formuladas. Pues, por de pronto, siempre es difícil descubrir y examinar todos los presupuestos relevantes de un problema. Ni en una teoría formalizada se enumeran más presupuestos que los que su inventor ha descubierto como relevantes, y, salvo en casos triviales, la lista es casi seguramente incompleta; numerosos progresos se han conseguido al descubrir que una determinada fórmula era necesaria, o, por el contrario, superflua, en el trasfondo de una teoría. Consiguientemente, una pregunta aceptada *bona fide* como bien concebida, como significativa, puede resultar, tras un examen más detallado, mal concebida.

El rigor parecería exigir un examen de los presupuestos de cada presupuesto, y así hasta llegar –o no– a los presupuestos últimos. Esto es posible, en principio al menos, en la ciencia formal: en ésta podemos cavar hasta llegar a la teoría de conjuntos y los supuestos iniciales de la misma. Pero en la ciencia fáctica sigue sin saberse si existe alguna teoría básica, aunque corrientemente se cree que tiene que ser la mecánica. Sólo que nadie sabe qué teoría de la mecánica, si la clásica, de la que se sabe que sólo es parcialmente verdadera, o la mecánica relativista, que no es independiente de la teoría electromagnética, o la mecánica cuántica, que incluye la clásica. En la ciencia factual es posible que el esquema sea una red en vez de una línea, y en cualquier caso resulta prematuro legislar al respecto. Lo que tenemos que asegurar es el *derecho* de ir tan lejos cuanto se considere necesario en cada caso. Dicho negativamente: tenemos que negarnos a reconocer que existen axiomas fácticos últimos e inamovibles. Los presupuestos deben considerarse relativos: lo que en un determinado contexto es un enunciado fuera de cuestión, puede ser objeto de investigación –y, consiguientemente, de corrección o hasta recusación– en otro contexto u otro ulterior estadio de desarrollo de la ciencia.

El darnos cuenta de la condición mutable de los presupuestos puede ayudarnos a entender la relatividad de los caracteres de bien concebido y significatividad de las preguntas. No hay preguntas que sean *intrínsecamente* bien concebidas o significativas: una cuestión está bien concebida, como se ha dicho, si y sólo si su trasfondo en el mismo contexto es coherente. Por tanto, si aceptamos los presupuestos de una pregunta tenemos que admitir que esta misma está bien concebida; y no en otro caso. Así, por ejemplo, dentro de los límites del operativismo estricto (sec. 3.6), la pregunta sobre la temperatura del espacio interestelar carece de sentido, porque no hay operación alguna que pueda suministrar una respuesta: la colocación de un instrumento de medición y un dispositivo registrador (un hombre, por ejemplo), terminaría con las condiciones del vacío. Pero esa misma cuestión tiene sentido para el realista (y, cosa más importante, para los astronautas), porque el realista no presupone que existir sea medir y ser medido.

Si se cambia el contexto puede cambiar también la significatividad de una pregunta. Ahora bien: puesto que el contexto –o sea, el conjunto de teorías científicas y filosóficas relevantes para el problema– está cambiando constantemente, sería imprudente rechazar ciertas cuestiones –por ejemplo, las que no nos gustan– considerándolas intrínseca y eternamente sin sentido. Es más sabio adoptar una actitud modesta y reconocer que el problema no nos interesa o que, aunque interesante, es *prematuro,* o sea, que no se han construido aún los instrumentos adecuados para su manejo.

Las tendencias limitadoras de la investigación y, simultáneamente, las polémicas estériles sobre *ismos* pueden evitarse adoptando esta otra estrategia más modesta que no mata los problemas interesantes, pero remite su tratamiento al momento en el cual se disponga de los necesarios instrumentos teoréticos. Los primeros reflexólogos y behavioristas no habrían merecido los reproches de los psicólogos de orientación tradicional si, en vez de despreciar por sin-sentido ("metafísicas") todas las preguntas relativas a las funciones superiores del sistema nervioso, como la consciencia y el conocimiento, hubieran aclarado que su conductismo no era ontológico, sino metodológico: que partían del estudio de los problemas más simples de la psicología animal no porque no existieran más problemas que ésos, sino porque había que resolver éstos antes de poder plantear

siquiera los problemas, mucho más complicados, de la mente humana. La pseudociencia y la anticiencia no arraigan sólo en la ignorancia y en el intento deliberado de suprimir la ilustración, sino también en la deliberada recusación por los científicos de problemas perfectamente legítimos, aunque tal vez aún prematuros.

En todo caso, hay preguntas formalmente simples, en el sentido de que son elementales o atómicas (esto es, que no contienen más que una sola incógnita), pero no hay cuestiones semánticamente simples: toda pregunta tiene un determinado cuerpo de presupuestos. La pregunta-paradoja "¿Ha dejado usted ya de pegar a su mujer?" no debe ser eliminada por ser compleja, sino por tener un presupuesto que puede ser falso. Lo importante no es eliminar los presupuestos –cosa imposible– sino tenerlos bajo control, o sea, someterlos a examen crítico en cuanto que aparecen soluciones erradas. Y como es la pregunta la que origina la investigación, concluiremos que ninguna investigación puede partir de la nada: no hay investigación sin presupuestos, puesto que no la hay sin pregunta previa. Pero con esto llegamos ya a la metodología del planteamiento de problemas.

Problemas

4.2.1. Simbolizar las siguientes preguntas y situarlas en la clasificación.

1. ¿Cuál es el cuadrado de x?
2. ¿Cuál es el número tal que, sumado a cualquier número dado, da este mismo número?
3. ¿Cómo se relaciona a con b?
4. ¿Para qué sirve c?
5. ¿Adónde va usted?
6. ¿Qué hace usted?
7. ¿Cuál es la función f tal que, para todo x y para todo y, $f(x \cdot y) = f(x) + f(y)$?
8. ¿Se sigue el teorema t de los supuestos A?
9. ¿Confirma la evidencia e la hipótesis h?
10. ¿Resuelve la solución $G(c)$ el problema $\Pi(v)$?

4.2.2. Intentar simbolizar las siguientes preguntas y averiguar si están bien formadas.

1. ¿Qué hace el hacer?
2. ¿Cómo deviene el devenir?
3. ¿Existo?
4. ¿Dónde está ningún sitio?
5. ¿Cuál es el ser de la nada?

4.2.3. Formular tres preguntas que no tengan respuesta única, y completarlas luego añadiendo las variables y constantes que falten. *Problema en lugar de ése*: En qué difiere el problema "¿Qué estoy viendo?" del problema "¿Qué hay en el lugar x al tiempo t?"

4.2.4. Algunos criminalistas han preguntado: "¿Por qué es la criminalidad más elevada en las clases bajas que en las clases altas?" ¿Qué presupone esta cuestión? ¿Y qué habría que hacer antes de intentar contestarla? Cf. R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, 2a. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, p. 90. *Problema en lugar del anterior*: Los problemas disyuntivos son de dos clases: dicotómicos (p. ej., "¿Par o impar?") y no dicotómicos (p. ej., "¿Innato o aprendido?"). Estudiar la confusión producida al tomar los segundos por los primeros. Véase D. O. Hebb, *A Textbook of Psychology*, Philadelphia, Saunders, 1966, cap. 7.

4.2.5. Explicitar los presupuestos de las siguientes preguntas:

1. ¿Dónde está *c*?
2. ¿Cuándo ocurrió *c*?
3. ¿Que es *c*?
4. ¿Qué hay de nuevo?
5. ¿Cuáles son los constituyentes últimos de la materia?

Problema en lugar de ése: Examinar el modo cómo K. R. Pòpper, en *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963, pp. 21-27, trata la pregunta '¿Cómo lo sabe usted?'

4.2.6. ¿Qué es incorrecto –si hay algo que lo sea– en la pregunta siguiente?: "¿Por qué hay algo y no más bien nada?" o, equivalentemente, "¿Por qué ente, y no más bien la nada?" Indicación: averiguar si se trata de una pregunta radical o de una pregunta que ya presupone algo. *Problema en lugar del anterior:* Demostrar el teorema: $(\Pi_1 \geq \Pi_2) \leftrightarrow (G_1 \rightarrow G_2)$.

4.2.7. Examinar el criterio de sentido (de concepción correcta) de preguntas propuesto por P. W. Bridgman en *The Logic of Modern Physics*, Nueva York, Macmillan, 1927, p. 28: "Si una pregunta determinada posee sentido, tiene que ser posible hallar operaciones que permitan darle una respuesta." Algunas de las cuestiones consideradas operativamente sin sentidos son *(op. cit.*, pp. 30-31): "¿Hubo un tiempo en el cual no existió la materia?", "¿Puede ser limitado el espacio?", "¿Por qué obedece la naturaleza a leyes?" ¿Son estas preguntas sin sentido en absoluto, o sea, están mal concebidas para todo contexto posible? *Problema en lugar de ése*: Analizar el concepto de versión simplificada de un problema.

4.2.8. Considerar la pregunta: '¿Qué aspecto tendría el universo si él en su conjunto y cada cosa en él, incluidos nuestros metros, duplicaran su tamaño de la noche a la mañana? ¿Debe considerarse como un problema bien formado y bien concebido? Si tal es el caso, ¿es correcta alguna de las respuestas siguientes? (*i*) No podríamos saber cuál sería el aspecto del mundo, porque la pregunta implica una suposición no sometible a contrastación. (*ii*) El universo sería exactamente igual que ahora. *(iii)* No hay razón alguna para suponer que un tal acontecimiento es posible, por no hablar ya de la posibilidad de someter el supuesto a contrastación. *Problema en lugar de ése*: Dilucidar los conceptos de problema directo y problema inverso. En particular, averiguar si el ser directo (o inverso) es una propiedad lógica de un problema, esto es, una propiedad independiente de su génesis. Indicación: empezar por examinar casos simples, como el par: $(?x)R(x, b)$, $(?y)R(a, y)$.

4.2.9. Considerar la clase de preguntas ejemplificada por: "¿Qué ocurriría si los hombres consiguieran ser inmortales?" y "¿Qué ocurriría si la materia se destruyera (o creara) a una tasa dada?" Estas preguntas, que implican el supuesto de que puedan dejar de obrar una o más leyes fundamentales de la naturaleza, o que los correspondientes enunciados legaliformes puedan resultar probadamente falsos un día, pueden llamarse *preguntas contralegales*. ¿Cuál es la función, si es que tienen alguna, de estas preguntas contralegales? (*i*) ¿Dar trabajo a los filósofos y divertir a la gente? (*ii*) ¿Aclarar hipótesis y teorías? (*iii*) ¿Someter hipótesis y teorías a contrastación? *Problema en lugar de ése*: Considerar la pregunta "¿Cómo se comporta un átomo cuando está abandonado a sí mismo, es decir, cuando no está sometido a observación?" ¿Tiene esa pregunta sentido para un subjetivista (por ejemplo, para un operativista)? ¿Se formula realmente en física esa pregunta?

4.2.10. Si queremos seguir a un electrón en su trayectoria tenemos que interferir con él, por ejemplo, proyectando sobre él rayos gamma, o interrumpiendo su movimiento con pantallas provistas de pequeños orificios. Pero entonces perturbamos el movimiento del electrón, y, consiguientemente, no podemos dar respuesta a la pregunta inicial, que era: "¿Cuál es la trayectoria no perturbada del electrón?" La solución que suele darse habitualmente a esta situación paradójica es la siguiente: "La pregunta inicial es un sin-sentido (está mal concebida), porque presupone que el electrón tiene una posición determinada en cada momento, lo cual es una hipótesis sin garantía que produce la dificultad". ¿Podría cobrar sentido la pregunta inicial en otro contexto

teorético, y podría recibir tratamiento experimental con ayuda de medios más finos, menos brutales que los hoy disponibles? ¿O debe recusarse el problema para siempre?

4.3. PROBLEMAS CIENTÍFICOS

No todo problema, como es obvio, es un problema científico: los *problemas científicos* son exclusivamente aquellos que se plantean sobre un trasfondo científico y se estudian con medios científicos y con el objetivo primario de incrementar nuestro conocimiento. Si el objetivo de la investigación es práctico más que teórico, pero el trasfondo y los instrumentos son científicos, entonces el problema lo es de ciencia aplicada o tecnología, y no de ciencia pura (cf. 1.5). Sin embargo, no es una línea rígida la que separa los problemas científicos de los tecnológicos, pues un mismo problema, planteado y resuelto con cualesquiera fines, puede dar una solución que tenga ambos valores, el cognoscitivo y el práctico. Así, por ejemplo, los estudios de ecología y etología de los roedores pueden tener a la vez valor científico y valor práctico para la agricultura y la medicina.

La clase de los problemas científicos –que es ella misma una subclase de los problemas de conocimiento– puede analizarse de varios modos. Aquí se adoptará la siguiente dicotomía:

Problemas científicos {
- *Sustantivos o de objeto* (Ej.: ¿Cuántos *A existen*?)
- *De estrategia o procedimientos* (Ej.: ¿Cómo *contaremos* los *A*?)

Mientras que los problemas de objeto se refieren a las cosas, los de procedimiento se refieren a nuestros modos de conseguir noticias de las cosas, y a nuestro conocimiento en general. Los problemas sustantivos pueden subdividirse a su vez en problemas empíricos y conceptuales, y los de estrategia en problemas metodológicos y valorativos o de estimación. La resolución de los problemas empíricos exige operaciones empíricas, además del ejercicio del pensamiento, mientras que los problemas conceptuales son objeto sólo de trabajo cerebral, aunque pueden requerir conceptualizaciones de operaciones empíricas y de datos. Los problemas metodológicos y valorativos son unos y otros conceptuales por lo que hace al modo de plantearlos y resolverlos; difieren en que, mientras que las soluciones a problemas valorativos son juicios de valor, las soluciones a problemas metodológicos están libres de valoración. Las tablas 4.2 y 4.3 exponen algunas de las especies más importantes de los cuatro géneros de problemas:

TABLA 4.2. PROBLEMAS SUSTANTIVOS

1. PROBLEMAS EMPÍRICOS
   - 1.1. *Hallazgo de datos*: caracterización de objetos de experiencia
     - 1.1.1. Observación
     - 1.1.2. Enumeración

1.1.3. Medición
1.2. *Fabricación* de instrumentos, su calibración, preparación de drogas, etcétera.

2. PROBLEMAS CONCEPTUALES
2.1. *Descripción*: caracterización de individuos y clases
2.2. *Ordenación*: clasificación y ordenación de conjuntos
2.3. *Dilucidación*: interpretación de signos y afinamiento de conceptos
2.4. *Deducción*:
2.4.1. Cómputo (p. ej., hallar el valor de una variable)
2.4.2. Demostración de teoremas
2.4.3. Comprobación de soluciones
2.4.4. Explicación: dar razón de hechos y de generalizaciones empíricas con base en teorías
2.4.5. Proyección: predicción o retrodicción de hechos
2.5. *Construcción*: invención de ideas
2.5.1. Introdución de nuevos conceptos
2.5.2. Introducción de generalizaciones empíricas
2.5.3. Introdución de hipótesis de nivel superior que subsuman generalizaciones empíricas
2.5.4. Construcción de sistemas de hipótesis de nivel alto (teorías)
2.5.5. Reconstrucción de teorías (investigación de fundamentos, o básica)
2.6. *Metalógica*: descubrimiento y eliminación de inconsistencias, demostraciones de consistencia e independencia, etcétera.

TABLA 4.3. PROBLEMAS DE ESTRATEGIA

1. METODOLÓGICOS
1.1. *Convenciones*: establecimiento de reglas de designación, escalas de medición, unidades de medición, niveles de relevancia, etcétera
1.2. *Técnicas:* arbitrio de tácticas para examinar problemas, observar, medir, etcétera
1.3. *Disposición de experimentos:* preparación de experimentos
1.4. *Disposición de teorías:* preparación de la construcción de teorías
1.5. *Examen de métodos:* examen y crítica de todo lo anterior

2. VALORATIVOS
2.1. *Estimación* de datos, hipótesis, teorías, técnicas y equipo material con base en los objetivos dados
2.2. *Estimación fundamental:* examen de los objetivos mismos.

Por definición, no se presentan en la ciencia formal problemas empíricos; y cuando un problema de la ciencia formal se traduce por un problema factual análogo, la solución a este último tiene que retraducirse inversamente al contexto inicial. Los problemas empíricos se mezclan con problemas conceptuales; no se caracterizan por una falta total de consideraciones teoréticas en su planteamiento y manejo, sino por la presencia de operaciones empíricas en el curso de su resolución. En cambio, los problemas conceptuales no requieren operaciones empíricas sino, a lo sumo, ideas sugeridas por éstas. Por lo que

hace a los problemas metodológicos, éstos son de particular importancia en las ciencias más jóvenes; por ejemplo el interés por tales problemas que existe en la sociología contemporánea es comparable al interés por tales problemas que acompañó a la naciente física moderna hacia fines del siglo XVII. En ambos casos se descubrió que el planteamiento tradicional era erróneo y se buscaron métodos completamente nuevos. Por último, la inclusión de problemas de valoración en la ciencia puede hacer que se frunzan muchos ceños filosóficos, a causa de la arraigada dicotomía hecho-valor. Se dirá: ¿No es acaso un hecho que la ciencia moderna no ha podido empezar hasta que la naturaleza quedó liberada de valores y de otros atributos antropomórficos? Y sí, es un hecho; pero es un hecho irrelevante: la naturaleza está limpia de valores, pero la ciencia natural no se ocupa sólo de problemas sustantivos, sino también de la invención y los modos analíticos de manejar tales problemas, trabajo en el cual se formulan juicios de valor. Cada vez que un experimentador se encuentra con el problema de elegir entre diferentes equipos materiales para un determinado fin, estimará de un modo u otro factores como el alcance, la precisión, la flexibilidad de uso, la seguridad y el coste de los diversos equipos, con el fin de formularse un juicio de valor global; análogamente, el teórico comparará las varias hipótesis concurrentes y las teorías también desde el punto de vista de su alcance en extensión, su profundidad, el apoyo que reciben de otros campos de investigación, y hasta desde el de la elegancia formal. Toda decisión se basa en un conjunto de juicios de valor, y en la investigación científica se están tomando constantemente decisiones, aunque éstas no se presenten explícitamente en el resultado, el cuerpo de conocimiento sustantivo.

La agrupación de problemas esbozada en las tablas 4.2 y 4.3 no es enteramente adecuada como división a causa de que la mayoría de los problemas científicos "enteros" son lo suficientemente ricos como para caer simultáneamente bajo las cuatro categorías a la vez. Por eso "empírico", "conceptual", "metodológico" y "valorativo" no deben entenderse como características que se excluyan recíprocamente, sino más bien como propiedades que pasan alternativamente a primer plano en el curso de la investigación. Así, por ejemplo, el problema consistente en averiguar el efecto de una determinada droga sobre el sistema nervioso puede descomponerse en las siguientes tareas: (*i*) el problema metodológico de arbitrar los experimentos adecuados y elegir el nivel de relevancia de las correlaciones halladas con la ayuda de experimentos; (*ii*) el problema empírico de confeccionar la droga –o el medicamento– o de purificarla, administrarla y registrar sus efectos; (*iii*) el problema conceptual de interpretación de los datos y formulación de hipótesis acerca del modo de acción de la droga (p. ej., mecanismos de reacción activos en el organismo); y (*iv*) el problema valorativo consistente en averiguar si la droga en cuestión es mejor o peor, respecto de ciertos fines, que las otras propuestas.

Nuestra lista no agota tampoco los problemas que se presentan en la investigación científica, varios de los cuales no son propiamente científicos. Problemas de presupuesto, de suministro, de división del trabajo, de entrenamiento e integración del equipo o colectivo de científicos, etc., son susceptibles de planteamiento científico, con lo que ellos mismos se convierten en problemas científicos: a medida que la investigación va convirtiéndose en una rama importante de la producción, los problemas de su administración y dirección tienden a plantearse con la ayuda de la investigación operativa, la psicología social, etc. Pero por lo común esos problemas siguen aún tratándose a un nivel pre-cien-

tífico, a causa de la influencia de la tradición y a causa también de que las teorías de la acción no están lo suficientemente desarrolladas para que se imponga su aplicación.

Tras haber hablado de la taxonomía de los problemas científicos podemos interesarnos ahora por su filogénesis. Los problemas científicos no nacen en el vacío, sino en el humus de un cuerpo de conocimiento preexistente constituido por datos, generalizaciones empíricas, teorías y técnicas. Si se siente el deseo de averiguar, digamos, la fórmula química exacta del óxido de platino, ello se debe a que conocemos o sospechamos la existencia de ese óxido y, además, (*i*) algunas de las propiedades del óxido de platino (datos), (*ii*) algo acerca de las leyes de los enlaces químicos (teoría), y (*iii*) ciertos procedimientos empíricos como el análisis por rayos X (técnicas). En cambio, el que pregunta '¿Cuál es el sentido de la vida?' o '¿Cuál es el sentido de la historia?', podrá proceder sin datos, teorías ni técnicas, porque está planteándose cuestiones indeterminadas, aunque no sea más que por la ambigüedad de los términos 'sentido', 'vida' e 'historia'.

La mera selección de problemas está ya determinada por el estado del conocimiento –particularmente, por sus lagunas–, por nuestros fines y por nuestras posibilidades metodológicas. Cuando el conocimiento que hace de trasfondo es escaso, los problemas importantes no pueden formularse sino vagamente y, por tanto, es difícil que se resuelvan. (Por eso no puede sorprendernos que las ciencias del hombre estén aún manejando problemas relativamente modestos y dejando por el momento las cuestiones más profundas en manos de los pseudocientíficos: los científicos no disponen aún del marco adecuado –las teorías– en el cual puedan plantearse correctamente esos problemas profundos.) Consideremos, por ejemplo, la cuestión de si un caballo puede convertirse en un animal trepador: esa pregunta no puede ni siquiera plantearse fuera del contexto de una teoría de la evolución. O tomemos la pregunta que se formuló Einstein de joven y que dio origen a su teoría general de la relatividad: ¿Por qué la aceleración de un cuerpo inmerso en un campo gravitatorio no depende de la masa de ese cuerpo? La pregunta de Einstein habría sido estrictamente un sin-sentido para Newton, por ejemplo: era imposible formularla antes de que se constituyeran las teorías clásicas de la gravitación y de la electrodinámica. Toda teoría delimita el conjunto de los problemas que pueden formularse.

Además, los problemas no "surgen", no son impersonalmente "dados" al investigador: sino que el científico individual, con su acervo de conocimiento, su curiosidad, su visión, sus estímulos y sus tendencias, registra el problema o incluso lo busca. Por tanto, la idea de que toda rama de la ciencia tiene su propio y permanente equipo conceptual es errónea: en la ciencia, como en el *catch-as-catch-can,* cada cual se sirve de lo que puede. Si todos los biólogos aprendieran teoría de conjuntos, teoría de relaciones, teoría de retículos, ecuaciones diferenciales e integrales, utilizarían todo eso simplemente porque se les ocurrirían nuevos problemas biológicos que requirieran esos instrumentos de formulación, o bien los utilizarían para formular con más precisión y resolver los problemas habituales. Análogamente, si el psicólogo que estudia la formación y la evolución de los conceptos básicos en el niño estuviera más familiarizado de lo que suele estarlo con conceptos que no fueran estrictamente los de clase, seguramente prestaría más atención a la ontogénesis de los conceptos relacionales y cuantitativos. Hasta los físicos se beneficiarían de un cierto entrenamiento en lógica pura: no hablarían entonces de definiciones operativas u operacionales, no intentarían encontrar los conceptos básicos (primitivos)

precisamente entre los que se refieren a rasgos observables, y no creerían que la única y definitiva forma de contrastar positivamente las teorías es la predicción con éxito.

La simple curiosidad no engendra problemas: rara vez nos planteamos problemas para cuyo tratamiento carezcamos de todo procedimiento adecuado. Y cuando carecemos de ellos pero notamos al mismo tiempo que el problema es importante, nos planteamos en seguida el problema ulterior de arbitrar nuevos métodos, problema que es metodológico, no sustantivo. Esto es lo que hizo Pavlov al enfrentarse con el problema de hallar una ciencia objetiva del comportamiento; es también lo que hizo Aston cuando tropezó con la imposibilidad de separar isótopos con las técnicas (químicas) de análisis de que disponía. Como es natural, ni Pavlov ni Aston habrían formulado sus respectivos problemas si no hubieran sabido que los procedimientos entonces disponibles eran inadecuados, ni tampoco si no hubieran tenido la esperanza de hallar otros nuevos.

Pero tampoco basta con tener una técnica para la resolución del problema: tenemos que poseer también un conjunto de datos. En el caso ideal se tratará del conjunto necesario y suficiente de elementos de información. En la investigación real lo más frecuente es que nos encontremos en alguno de estos otros casos: (*i*) *demasiado pocos datos*, lo cual exige complementar la información o buscar una solución aproximada; (*ii*) *demasiados datos*: un gran número de elementos de información, en parte irrelevantes, en parte en bruto o sin digerir por la teoría, y sólo en parte adecuados; esto exige entonces una previa selección y condensación de datos a la luz de nuevas hipótesis o teorías.

La posesión de un acervo de datos, técnicas y teorías es pues necesaria para plantear y atacar un problema científico. Pero no es suficiente. Tenemos que estar razonablemente seguros de que seremos capaces de *reconocer la solución* una vez que la hayamos encontrado. Además, tenemos que estipular por anticipado: (*i*) qué *clase de solución* va a considerarse adecuada y (*ii*) qué *clase de comprobación* de la solución propuesta se considerará satisfactoria. De no ser así podremos perdernos en una investigación estéril o una discusión sin fin. Por ejemplo: si uno se plantea el problema consistente en aclarar el mecanismo por el cual se produce la materia viva, y ello con la intención de refutar el vitalismo, los dos contendientes tendrán que ponerse antes de acuerdo (*i*) acerca de si lo que se considerará necesario y suficiente será la síntesis de un virus o la de un organismo del orden de magnitud de la ballena; y (*ii*) acerca de la clase de propiedades que tiene que poseer el organismo artificial para ser considerado como un ser vivo.

Además de estipular por anticipado cuál tiene que ser el aspecto de la solución, con objeto de poder reconocerla como tal cuando se consiga, tenemos que plantearnos el problema de la *existencia* y la *unicidad* de la solución antes de intentar resolver el problema inicial. En la matemática pura y en las ciencias que utilizan la matemática, esas cuestiones previas están normadas: la existencia de la solución y su carácter único se demuestran, o bien se demuestra que no existe solución, o que, si existe, no es única. (En la práctica, se procede con la esperanza de que exista una solución única, y no se intenta demostrarlo hasta que se presentan dificultades; pero en todo caso se reconoce que las demostraciones de existencia y de unicidad son lógicamente anteriores a los intentos de resolver el problema.) Como es natural, la demostración de que existe una solución no garantiza que se la vaya a encontrar: muchas veces por falta de métodos adecuados, no podemos pasar de una solución aproximada. La importancia de asegurar la existencia de

una solución única (aunque acaso de varios miembros) es tan clara como la del asegurar la existencia de solución en general. Sólo las soluciones únicas pueden usarse para dar explicaciones no ambiguas del comportamiento de las cosas: piénsese en un campo de fuerzas descrito por una función que tenga más de un valor para cada punto del espacio (función multivalorada). Los teoremas de existencia y de unicidad especifican en qué condiciones existe una solución y/o si esa solución es única; estas condiciones pueden no pertenecer al conjunto de los datos iniciales: pueden tener que obtenerse de la teoría en la cual se inserta el problema.

Podemos ahora resumir las condiciones, necesarias y suficientes, para que un problema pueda considerarse como un *problema científico bien formulado*: (*i*) tiene que ser accesible un cuerpo de conocimiento científico (datos, teorías, técnicas) en el cual pueda insertarse el problema, de tal modo que sea posible tratarlo: los problemas enteramente sueltos no son científicos; (*ii*) el problema tiene que estar bien formulado en el sentido de las exigencias formales expuestas en la sec. 4.2; (*iii*) el problema tiene que estar bien concebido en el sentido de que su trasfondo y, en particular, sus presupuestos, no sean ni falsos ni por decidir; (*iv*) el problema tiene que estar delimitado: un planteamiento que no sea progresivo, paso a paso, no es científico; (*v*) hay que hallar las condiciones de existencia y unicidad de la solución; (*vi*) hay que formular anticipadamente estipulaciones acerca del tipo de solución y el tipo de comprobación de la misma que resultarían aceptables. El respeto de estas condiciones no garantiza el éxito, pero sí ahorra pérdidas de tiempo.

Estas condiciones son necesarias y suficientes para que un problema sea un problema científico bien formulado. Pero hay problemas de ese tipo que resultan vacíos o irrelevantes, mientras que problemas mal formulados pueden ser de mucho interés. Para que la investigación científica sea fecunda, hay que añadir una condición muy importante de orden psicológico, a saber, que el problema sea interesante para alguien que esté bien equipado para estudiarlo. La investigación científica, al igual que el arte o que la política, exige pasión para que sea fecunda. Es claro que no hay recetas para enamorarse de problemas, aparte de la de ocuparse de ello. Y eso requiere una familiaridad previa con las motivaciones científicas (cognoscitivas, no personales) del problema, las cuales se hallan examinando el planteamiento. Ahora bien: la familiaridad con el planteamiento de problemas y el desarrollo de una sensibilidad al respecto dependen tanto de las tendencias del individuo cuanto del estado de la ciencia por la cual se interesa. Y este estado se caracteriza no sólo por los logros ya conseguidos, sino también por las tendencias, características y modas del momento. Porque efectivamente hay modas en la ciencia, igual que en cualquier otra rama de la cultura.

El comportamiento instintivo, como la nidación y la migración de las aves, el tejido de telas por las arañas y las formas de comunicación de las abejas, han sido temas favoritos de la biología (más precisamente: de la etología) durante la segunda mitad del siglo pasado, y, en cambio, llegaron a ser casi desprestigiadores hacia fines de la década de 1930. Volvieron a ponerse de moda, o a ser respetables, esos temas después de la segunda guerra mundial, y ello por sus buenas razones. La anterior investigación había sido exclusivamente descriptiva, ajena a la teoría: ésa era una razón para despreciarla. Pero con el desarrollo de la ciencia del control y la comunicación resultaron posibles plantea-

mientos más profundos; también podían seguirse mejor ahora las relaciones entre genotipo y comportamiento; por último, era evidente que la etología tenía un gran interés para las nuevas ciencias psicológica y sociológica. Había pues motivos razonables para que resucitara el interés por el comportamiento instintivo. Pese a lo cual puede de todos modos registrarse un pequeño elemento de superficialidad dictada por la moda en esa resurrección del tema: la mayoría de la gente gusta de estar al día, no sólo en cuanto a conocimiento y planteamiento, sino también respecto de los temas mismos; esto no es ya nada razonable, pues los temas son esencialmente sistemas problemáticos, y los problemas deben apagarse en la medida en que se resuelven, no porque se dejen a un lado.

El darse cuenta de que la selección de problemas está parcialmente determinada por el clima intelectual del momento, y que ese clima incluye un elemento de mera moda, es importante para evitar la subestimación y, consiguientemente, la falta de apoyo de que puede sufrir una investigación seria pero que no esté de moda; sólo investigadores ya muy reputados pueden permitirse el trabajo en una investigación así. El valor de los problemas no depende de los muchos o pocos que los cuiden en un momento dado, sino de los cambios que su estudio podría imponer a nuestro cuerpo de conocimientos.

Supongamos, por último, que hemos tropezado con un problema científico bien formulado que resulta además interesarnos: ¿podemos averiguar si será un problema *fecundo* en vez de un mero pasatiempo agradable? No se conocen condiciones necesarias que garanticen la fecundidad de un problema, ni, por tanto, de su investigación. Pero todo problema científico, si se lo estudia seriamente, dará algún fruto antes o después, porque los problemas científicos son por definición *sistémicos:* se presentan o pueden introducirse en un sistema, y ya esto garantiza que su investigación tendrá algún efecto. Las cuestiones sueltas reciben soluciones también sueltas que no llevan a ninguna parte; pero si se da un paso en algún punto de una línea de investigación, puede ser que se mueva hacia adelante toda esta línea, o sea, que puedan plantearse nuevos problemas. Por eso una organización inteligente de la ciencia, lejos de exigir resultados inmediatos, impulsará la investigación de *todo* problema científico bien formulado que haya surgido en la imaginación de un investigador competente. O sea, la organización de la ciencia, si es inteligente, asegurará la libertad de investigación, la cual es en gran medida, como veremos pronto, libertad de planear.

Problemas

4.3.1. Indicar un problema científico concreto de cada una de las siguientes clases: empírico, conceptual, metodológico.

4.3.2. Identificar el tipo de problemas a que pertenece cada miembro de la secuencia siguiente. (*i*) ¿Cómo es posible exterminar una determinada especie de insectos? (*ii*) ¿Qué sustancia tóxica afecta más a la especie dada? (*iii*) ¿Cómo pueden producirse masivamente y a bajo precio los productos químicos, y cómo pueden manipularse sin peligro, para exterminar la especie considerada? (*iv*) ¿Cómo puede evitarse la destrucción de especies útiles con el uso del insecticida? (*v*) ¿Cómo quedará alterado el equilibrio ecológico por la destrucción de la especie dada?

4.3.3. Proponer ejemplos de problemas básicos o de fundamentos, esto es, de problemas que requieren el examen crítico o incluso la introducción de supuestos básicos, más que su aplicación.

4.3.4. Supongamos que se nos encarga la tarea de hallar al Abominable Hombre de las Nieves, ese gigante peludo y de aspecto humano del que se dice que discurre descalzo por las nevadas alturas del Himalaya. ¿Será éste un problema que cumpla todas las condiciones formuladas al final de esta sección?

4.3.5. Considérese el problema consistente en buscar señales que provengan de seres inteligentes extraterrestres. ¿Qué tipo de señal consideraríamos portadora de información significativa. mucho antes de haber sido capaces de averiguar su código o cifrado? Cf. S. von Hoerner, *Science, 134*, 1839, 1961, o A. G. W. Cameron (ed.), *Interstellar Communication,* Nueva York, W. S. Benjamin, 1963.

4.3.6. ¿Podría formularse razonablemente la pregunta de si existe el mundo entero? ¿Es propiamente un problema científico la pregunta de si el universo existe o no existe? Cf. S. Hook, "Pragmatism and Existenz-Philosophie", en S. Uyeda (ed.), *Basis of the Contemporary Philosophy,* Tokyo, Waseda University, 1960, p. 401.

4.3.7. Decidir si son posibles las siguientes combinaciones de predicados referidas a problemas científicos: mal formulado e importante bien formulado y trivial, aislado y fecundo, de moda y profundo.

4.3.8. Dar unos cuantos ejemplos de sistemas de problemas en otro tiempo suscitadores de interés y hoy injustamente despreciados. *Problema* en *lugar de ése*: La geometría era tan distinguida hasta mediados del siglo XIX que los franceses llamaban *geomètre* al matemático; pero durante este siglo dejó de estar de moda. ¿Por qué? La física del estado sólido fue despreciada hasta 1950, aproximadamente, y ahora está de moda. ¿Por qué? La teoría de la evolución fue eliminada por la genética, hasta que en los últimos años de la cuarta década de este siglo se reanimó el interés por ella. ¿Por qué?

4.3.9. Puesto que los problemas científicos se formulan sobre la base de algún trasfondo de conocimiento científico, y puesto que este último crece exponencialmente, ¿qué puede pensarse respecto del número de problemas científicos con que habrá que enfrentarse en el futuro? ¿Aumentará o disminuirá al incrementarse nuestro conocimiento?

4.3.10. Estudiar el efecto que tienen los siguientes factores en la selección de los problemas científicos: (*i*) preferencias de los gobiernos y de las empresas privadas por una investigación segura; (*ii*) presiones para producir resultados prácticos (por ejemplo, de valor comercial o militar); (*iii*) la lucha por becas y financiaciones, que produce prisa por obtener resultados "concretos"; (*iv*) gran uso de las calculadoras. Especular acerca del futuro de la ciencia si no se pone freno a tiempo a la acción de esos factores.

4.4. UN PARADIGMA, UN MARCO Y UNA COMPARACIÓN

A diferencia de los no científicos, los problemas científicos son miembros de *sistemas problemáticos,* o sea, constituyen conjuntos de problemas lógicamente interrelacionados. Un sistema problemático es un conjunto *parcialmente ordenado* de problemas, esto es, una secuencia ramificada de problemas dispuestos en orden de prioridad lógica. El descubrimiento y la modificación de esa ordenación parcial de los problemas es una parte de la *estrategia de la investigación*, y hay que esbozarla, aunque sea esquemáticamente, para que la investigación no sea casual, lo que la haría estéril o casi estéril.

Los problemas *de rutina* son los que pueden tratarse con estrategias ya fijadas, porque no se presentan grandes novedades en el curso de su investigación. Los problemas

de investigación, por su parte, exigen estrategias varias: la ordenación (parcial) de los problemas puede tener que alterarse en el curso de la investigación más de una vez, a medida que los resultados arrojan nueva luz sobre los problemas iniciales, y a medida que se presentan nuevos problemas que no habían sido previstos cuando se planeó la estrategia inicial.

La necesidad de cambiar de plan corrobora, en vez de refutar, la tesis de que la investigación científica es investigación planeada, aunque sea sólo parcialmente y a pequeña escala: no podría ser de otro modo, puesto que la investigación consiste en manejar conjuntos (sistemas) parcialmente ordenados de problemas. La libertad de la investigación científica no consiste en una ausencia de orientación o programa, sino en la libertad de elegir sistemas problemáticos, planteamientos, métodos y soluciones sin más objetivo que la consecución de la verdad. La investigación no es libre cuando carece de plan, sino cuando son los mismos investigadores los que programan su trabajo y cambian el programa en respuesta a necesidades internas.

Ilustremos la sistematicidad de los problemas científicos con un caso de interés en la ciencia social: la cuestión del poder, la cual, desde luego, no es un problema suelto, sino un complejo sistema problemático. Ese sistema puede analizarse, aunque no de modo único, para obtener los siguientes pasos ordenados.

1. *¿Cómo se describe el poder?*

1.1. *¿Cuáles son los ejemplos típicos de situaciones de poder?* O sea: ¿qué casos, intuitivamente (pre-sistemáticamente) reconocidos como implicantes de una relación de poder, debemos considerar como típicos?

1.2. *¿Qué factores son relevantes para el poder?* ¿Cuáles son las variables de que depende el poder? ¿Recursos naturales? ¿Fuerza de trabajo? ¿Nivel técnico? ¿Fuerza represiva? ¿Ideas? Y ¿qué factores son concomitantes con el poder? ¿La organización jerárquica? ¿El privilegio? ¿El derecho? ¿La violencia? ¿El adoctrinamiento? ¿La corrupción?

1.3. *¿Dónde vige la relación de poder?* ¿En la naturaleza, o sólo en la sociedad? Si lo último es el caso, ¿al nivel individual, al molecular, o en ambos? O sea: ¿cuáles son los relata de la relación de poder: individuos, grupos o unos y otros?

1.4. *¿Cuál es la taxonomía del poder?* ¿Cuáles son las clases de poder y de situaciones de poder, y cómo se relacionan esas clases?

2. *¿Cómo se analiza el poder?*

2.1. *¿Cómo debe plantearse el problema del poder?* ¿Qué punto de vista debe adoptarse? ¿Debe seleccionarse una clase especial de poder (económico, político, ideológico) o debe estudiarse el poder en general'? ¿Debe estudiarse el aspecto psicológico o el aspecto social del poder, o ambos? ¿Debemos adoptar un punto de vista externo (fenomenológico) o estudiar los mecanismos del poder?*

2.2. *¿Cómo se define el poder?* ¿Qué propiedades son necesarias y suficientes para caracterizar la relación de poder? Es sin duda una relación de orden, pero ¿qué más es? Si la definición tiene que servir como criterio operativo para reconocer el ejercicio de poder, si debe contestar a la pregunta '¿Cómo se reconoce el poder?', entonces los conceptos definientes tienen que ser accesibles a la observación, directa o indirectamente; en otro

caso no es necesaria tal restricción. Podemos, por ejemplo, intentar la definición siguiente: "*x* ejerce poder sobre *y* en el respecto *z* si y sólo si el comportamiento de *y* en el respecto *z* en presencia de *x* difiere sensiblemente del comportamiento de *y* en el respecto *z* cuando *x* no está presente". Toda definición planteará a su vez ulteriores problemas: ¿es formalmente correcta y cubre los casos típicos de poder en que estamos pensando?

2.3. *¿Cómo se mide el poder?* ¿Debemos contentarnos con un concepto comparativo de poder, o podemos analizarlo para obtener rasgos objetivos cuantitativos? En el caso de que emprendamos ese segundo camino, ¿qué unidad de poder adoptaremos?

3. *¿Cómo se interpreta el poder?*

3.1. *¿Cuál es la estática del poder?* ¿Cuáles son las relaciones de poder entre los miembros de un conjunto cuando éste se encuentra en equilibrio? (Búsqueda de las leyes del equilibrio de poder.)

3.2. *¿Cuál es la cinemática del poder?* ¿Cómo surgen las relaciones de poder y cómo cambian en el curso del tiempo? ¿Qué configuraciones son inestables y cuáles son las direcciones más probables del cambio: hacia el equilibrio o apartándose de él? (Búsqueda de las leyes de la evolución del poder.)

3.3. *¿Cuál es la dinámica del poder?* ¿Qué fuerzas pueden alterar el equilibrio del poder y qué fuerzas pueden restablecerlo? (Búsqueda de las leyes del mecanismo del poder.)

Ese paradigma de la estrategia de la investigación es una secuencia de tres pasos principales: *descripción*, *análisis* e *interpretación*. La resolución del problema de descripción requiere un repaso de los datos sociológicos e históricos relevantes, y usa instrumentos analíticos más bien elementales. Pero el éxito de las tareas descriptivas dependerá de la habilidad analítica del investigador, así como de su acervo de conocimientos. Por de pronto tiene que reconocer que el poder no es una cosa ni una sustancia segregada por entidades poderosas, sino una relación; luego, la taxonomía del poder puede ser ruda o sutil, según que se ignoren o usen ideas de la teoría de conjuntos. El segundo grupo de problemas, el análisis, es conceptual y metodológico. Una vez elaborado en este estadio un concepto afinado de poder, el investigador puede retrotraerse al estadio número uno para perfeccionar su anterior descripción. El último estadio, el de la interpretación, consiste en formular hipótesis, leyes relativas al poder, y en establecer las relaciones entre esos enunciados legaliformes: se trata de problemas de construcción. Una vez construida una teoría razonablemente satisfactoria del poder, aumentará el número de los problemas empíricos y metodológicos: en efecto, habrá que someter la teoría a contrastación, tal vez no con la mera evidencia empírica ya disponible, sino con otra adicional cuya búsqueda puede ser sugerida por la teoría misma, en el caso de que ésta no sea un mero resumen fenomenológico. En el contexto de esa teoría podrán plantearse problemas más ambiciosos –como "¿Por qué se desea el poder?", y "¿Cuándo y cómo empieza a cambiar tal o cual configuración de poder, y en qué sentido?" Por último, la respuesta al problema de valoración "¿En qué medida es verdadera la teoría?", supondrá la comprobación de la adecuación de las respuestas suministradas por la teoría a las anteriores preguntas.

El anterior paradigma ilustra las tesis siguientes. (*i*) Los problemas científicos se presentan en grupos o sistemas. (*ii*) Esos sistemas tienen que analizarse hasta llegar a pro-

blemas-unidad. (*iii*) Esos problemas-unidad tienen que ordenarse, provisionalmente al menos. (*iv*) Esa ordenación, o sea, la estrategia de la resolución de problemas, tiene que establecerse de acuerdo con la naturaleza de los problemas mismos, y no en respuesta a presiones extracientíficas. (*v*) Toda estrategia de la investigación, por modesta que sea, tiene que evitar su restricción a la mera recogida de datos, y tiene que ocuparse también de problemas conceptuales y metodológicos, y a veces de estimación.

Vamos a intentar ahora exponer el esquema general de la resolución de problemas en la ciencia factual. El tratamiento de un problema, o, por mejor decir, de un sistema problemático, no empieza con el efectivo trabajo de resolución, ni termina cuando se ha hallado una solución. Pueden distinguirse cinco estadios principales: formulación, exploración preliminar, descripción, interpretación y control de la solución. Cada estadio puede dividirse a su vez en cierto número de problemas particulares; a continuación se da una lista más a título de ilustración que de enumeración completa.

1. *Formulación*

1.1. ¿Cuál es el problema? (identificación del problema).
1.2. ¿Cuáles son los datos? (acervo de información).
1.3. ¿Cuáles son los supuestos? (acervo de ideas).
1.4. ¿Cuáles son los medios, p. ej., las técnicas? (acervo de procedimientos).
1.5. ¿Cuáles son las relaciones lógicas implicadas, p. ej., entre los datos y la incógnita? (condiciones que relacionan los constituyentes del problema).
1.6. ¿Qué clase de solución se desea? (esquema).
1.7. ¿Qué tipo de comprobación se necesita? (identificación de la solución).
1.8. ¿Por qué se busca una solución? (finalidad).

2. *Exploración preliminar*

2.1. ¿Qué aspecto tiene? (búsqueda de analogías con lo conocido).
2.2. ¿Está definido? Si lo está, ¿cómo? (en el caso de conceptos).
2.3. ¿Está presupuesto? Si lo está, ¿sobre qué base? (en el caso de supuestos).
2.4. ¿Está tomado como hipótesis? Si lo está, ¿con qué evidencia favorable? (en el caso de supuestos).
2.5. ¿Es observable? (en el caso de objetos físicos).
2.6. ¿Es contable o medible? (ídem).
2.7. ¿Cómo puede contarse o medirse? (ídem).

3. *Descripción*

3.1. ¿Qué es? (referente).
3.2. ¿Cómo es? (propiedades),
3.3. ¿Dónde está? (lugar).
3.4. ¿Cuándo ocurre? (tiempo).
3.5. ¿De qué está hecho? (composición).
3.6. ¿Cómo están sus partes –si las tiene– interrelacionadas? (configuración).
3.7. ¿Cuánto? (cantidad).

4. *Interpretación*
   4.1. ¿Cuáles son las variables relevantes? (factores).
   4.2. ¿ Cuáles son los factores determinantes? (causas).
   4.3. ¿Cómo están relacionadas las variables relevantes? (leyes)
   4 4. ¿Cómo funcionan? (mecanismos).
   4.5. ¿De dónde o de qué procede? (origen físico o lógico).
   4.6. ¿En qué se transforma? (predicción).

5. *Control de la solución*
   5.1. ¿Cuál es el dominio de validez de la solución? (límites).
   5.2. ¿Puede obtenerse la misma solución por otros medios? (posible comprobación independiente).
   5.3. ¿Era conocida la solución? (originalidad).
   5.4. ¿ Es la solución coherente con el cuerpo de conocimiento aceptado? (inserción).
   5.5. ¿Qué diferencia –si la supone– significa la solución para el cuerpo de conocimiento accesible? (efecto).

Las cuestiones de formulación, de exploración preliminar y de control se presentan en la ciencia formal igual que en la factual (como ha demostrado G. Pólya). Las tres primeras cuestiones de la exploración preliminar son también comunes a todas las ciencias, sean formales o factuales, y lo mismo puede decirse de los dos primeros problemas descriptivos. Los problemas de interpretación de hecho son peculiares a las ciencias factuales.

Examinemos por último las analogías y las diferencias entre los problemas científicos y acertijos como las palabras cruzadas. Esto iluminará un poco más nuestro problema. Pueden registrarse los siguientes rasgos comunes a unos y otros.

(*i*) *En ambos casos se presupone un cuerpo de conocimiento.* Del mismo modo que una persona analfabeta no puede enfrentarse con un acertijo de palabras cruzadas, así también es muy poco frecuente que un aficionado sin preparación pueda enfrentarse con un problema científico. Los infrecuentes casos de recientes aportaciones relevantes hechas por aficionados (comportamiento animal y radioastronomía) se han producido en campos nuevos y suponían en sus autores algún conocimiento especializado previo.

(*ii*) *En ambos casos se trata de problemas suficientemente bien formulados.* En el caso del juego la incógnita es un conjunto de palabras interrelacionadas; en el caso de la ciencia la incógnita puede ser un objeto (p. ej., una fuente de ondas de radio), una propiedad (p. ej., una longitud de onda), una proposición (p. ej., una ley), o cualquier otra entidad valiosa cognoscitivamente. En los dos casos se conocen los constituyentes del problema, y también los medios en la mayoría de los problemas científicos.

(*iii*) *El sujeto operador avanza mediante conjeturas en ambos casos.* En el de las palabras cruzadas, las conjeturas consisten en suponer que determinadas palabras que cumplen la descripción dada en las instrucciones se combinan adecuadamente con las palabras restantes. En el caso del problema científico también las hipótesis tienen que satisfacer condiciones de compatibilidad: tienen que recoger los datos y tienen que ser consistentes entre ellas y con el acervo del conocimiento. En ambos casos se requiere pues una coherencia doble.

(*iv*) *En ambos casos se someten las conjeturas a contrastación:* el sujeto operador comprueba si corresponden a los datos y a las condiciones del problema, así como si concuerdan con las demás hipótesis.

(*v*) *En ambos casos se controla la solución.* En el de las palabras cruzadas, la solución se compara con la publicada por el periódico. En el caso científico, se repiten las mediciones, o se toman con otros instrumentos, y las ideas se estiman con la ayuda de otras ideas. Por lo demás, en ambos casos el control es accesible al público.

Esas semejanzas no deben escondernos las diferencias entre juegos como las palabras cruzadas y problemas científicos. En primer lugar, en la ciencia factual nunca es definitiva la contrastación de los supuestos componentes y de la solución final: siempre es posible que aparezca evidencia falsadora, o argumentaciones desfavorables, incluso en el caso de las ideas mejor establecidas. Consiguientemente, *no hay soluciones finales para problemas científicos relativos a hechos*: a diferencia de la resolución de juegos y acertijos, la resolución de problemas científicos no tiene fin. En segundo lugar, la finalidad primaria de la investigación no es el entretenimiento, sino el incremento del conocimiento. A diferencia de los juegos, que son obstáculos artificiales levantados a plazo corto y con finalidad personal, los problemas científicos son obstáculos "naturales" en el sentido de que arraigan en la evolución de la cultura moderna, y de que su solución puede ser socialmente valiosa. El valor que tiene la investigación como entretenimiento se da por añadidura.

Problemas

4.4.1. Elegir un problema científico y distinguir sus constituyentes. Para una aclaración e ilustración del concepto de constituyente de un problema puede verse G. Pólya, *How to Solve It*, Nueva York, Doubleday Anchor Books, 1957.

4.4.2. Seleccionar un problema científico tomándolo de *Scientific American* o de cualquier publicación especializada, y analizarlo según las líneas que esboza el marco general dado en el texto de esta sección (formulación - exploración preliminar - descripción - explicación - control de la solución).

4.4.3. Preguntar a un científico qué sistema de problemas está tratando. Tomar nota de sus respuestas y averiguar si el análisis dado en el texto se aplica a su caso o necesita correcciones, y ver también si el científico en cuestión podría usar alguna estrategia determinada en vez de empezar por ensayo y error.

4.4.4. Hallar una investigación empírica que no suscite más que problemas de descripción. Si se encuentra, asegurarse de que es científica. *Problema en lugar de ése*: Discutir las motivaciones de la investigación científica.

4.4.5. Comparar la investigación histórica, arqueológica o paleobiológica, con la resolución de acertijos. Establecer las semejanzas y las diferencias. *Problema en lugar de ése*: Averiguar si los problemas científicos, al igual que algunos acertijos, pueden ser parcialmente indeterminados, y, por tanto, sin solución única. ¿Qué tipo de condiciones dejan de cumplirse en tales problemas? ¿Y cómo podría disminuirse o eliminarse la indeterminación?

4.4.6. Comentar la afirmación de I. Kant según la cual lo que para los sentidos es un dato es para el entendimiento una tarea. (Kant usó las palabras *Gabe* y *Aufgabe*).

4.4.7. Supongamos que se nos encarga la tarea de averiguar si nuestra inteligencia es innata o

producto de la educación. ¿Qué presupuestos explicitaríamos, qué problemas plantearíamos y cómo los ordenaríamos?

4.4.8. Supongamos que se nos pide una hipótesis para estimar los grados de corrupción que acompañan al ejercicio incontrolado del poder. ¿Empezaríamos por proponer varias conjeturas para comprobarlas, o antepondríamos a la búsqueda de hipótesis el planteamiento y la resolución de algunos problemas lógicamente previos? Si este último es el caso, ¿qué problemas?

4.4.9. La resolución de problemas es una actividad dirigida por reglas en el caso de los problemas de rutina: en este caso al menos, se trata de una actividad que puede someterse a un conjunto de reglas o prescripciones. ¿Es este el caso de la invención de problemas?

4.4.10. Se suelen ya arbitrar, programar y manejar máquinas calculadoras para resolver problemas: se les "introducen" las instrucciones y los datos para tratarlos. ¿Podría construirse y programarse una calculadora, ahora o en el futuro, para *descubrir* problemas de un tipo nuevo? Suponiendo que se pudiera "introducir" en una calculadora el conjunto de la cultura humana, ¿podrían darse instrucciones a la máquina para que hallara puntos débiles (contradicciones y lagunas) en esa herencia cultural? ¿Podría conseguirse que la máquina formulara los problemas correspondientes? ¿Podrían dársele instrucciones para que elaborara sus propias instrucciones para el caso de que se presentaran problemas de tipo imprevisto? ¿Agotaría esto los problemas posibles?

4.5. HEURÍSTICA

No se conocen recetas infalibles para preparar soluciones correctas a problemas de investigación mediante el mero manejo de los ingredientes del problema: sólo la resolución de problemas de rutina es, por definición, una actividad en gran medida regida por reglas (sección 4.4). Pero pueden darse algunos consejos sobre la manipulación de los problemas de investigación para aumentar la probabilidad del éxito. Por ejemplo, la siguiente docena de reglas.

1. *Formular el problema con claridad*

   Minimizar la vaguedad de los conceptos y la ambigüedad de los signos.

   Seleccionar símbolos adecuados, tan sencillos y sugestivos como sea posible.

   Evitar formas lógicamente defectuosas.

2. *Identificar los constituyentes*

   Señalar las premisas y las incógnitas, y escribir en forma desarrollada el generador.

3. *Descubrir los presupuestos*

   Explicitar los presupuestos relevantes de más importancia.

4. *Localizar el problema*

   Determinar si el problema es sustantivo o estratégico; en el primer caso, si es empírico o conceptual; en el segundo caso, si es metodológico o de valoración.

   Insertar el problema en una disciplina (problema unidisciplinario) o en un grupo de disciplinas (problema interdisciplinario).

   Averiguar la historia reciente del problema, si la tiene.

5. *Seleccionar el método*

Elegir el método adecuado a la naturaleza del problema y a la clase de solución deseada.

Estimar por anticipado las posibles ventajas y los posibles inconvenientes de los varios métodos, si los hay.

En caso de no tener a mano ningún método, formular el problema estratégico de arbitrar uno, y empezar por este problema.

6. *Simplificar*

Eliminar la información redundante.

Comprimir y simplificar los datos.

Introducir supuestos simplificadores.

7. *Analizar el problema*

Divide et impera: desmenuzar el problema en sus unidades más simples, o sea, en pasos más cortos (subproblemas).

8. *Planear*

Programar la estrategia: ordenar los problemas-unidad en orden de prioridad lógica; si esto no es posible, ordenarlos según su grado de dificultad.

9. *Buscar problemas análogos resueltos*

Intentar incluir el problema dado en una clase conocida de problemas, haciendo así rutinaria la tarea.

10. *Transformar el problema*

Variar constituyentes y/o formulación, intentando convertir el problema dado en otro más tratable y del mismo campo. Siempre que sea posible, desplazarse hacia un problema equivalente.

11. *Exportar el problema*

Si fracasan los intentos anteriores, intentar cambiar el problema dado por un problema homólogo de otro campo, como se hace cuando un problema de fisiología humana se transfiere al terreno de la fisiología de la rana.

12. *Controlar la solución*

Comprobar si la solución es correcta o, por lo menos, razonable.

Repasar los supuestos simplificadores y, si es necesario, abandonar algunas de esas restricciones para atacar el nuevo problema más complejo que resulte.

Repetir todo el proceso y, si es posible, probar con otra técnica.

Estimar la precisión alcanzada.

Indicar posibles vías para mejorar la solución.

La primera operación, la *formulación del problema,* su planteamiento, es a menudo la

más difícil de todas, como sabe muy bien el matemático al que se pide que formule un modelo matemático (una teoría) sobre la base de un desordenado haz de conjeturas más o menos nebulosas y de datos relativos a hechos sociales. En la mayoría de los casos puede obtenerse una solución, aunque sea sólo aproximada, haciendo supuestos simplificadores y/o consiguiendo más datos: lo que rara vez se tiene al principio, particularmente en la línea de frontera de la investigación, es una formulación clara del problema. Por regla general, el enunciado del problema llega a ser una pregunta bien formulada y clara a medida que progresa el trabajo sobre el problema mismo; muchos problemas empiezan de un modo oscuro, embrional, y terminan en una pregunta que apenas hace más que parecerse a la cruda interrogación inicial. Algunas de las demás operaciones antes referidas –especialmente las de identificación de los constituyentes, descubrimiento de los presupuestos, simplificación y análisis– no apuntan sólo a la resolución del problema, sino también a su reformulación en una forma viable. "Un buen planteamiento es la mitad de la solución", como dice uno de los pocos refranes populares que son verdaderos.

La segunda operación –la *identificación de los constituyentes*– parece trivial, pero puede ser difícil de realizar, particularmente si el problema no ha sido bien planteado. Puede ser fácil averiguar que las condiciones dadas y que relacionan los datos con las incógnitas (p. ej., las ecuaciones que contienen unos y otras) son todas necesarias; pero no será tan fácil asegurarse de que son también suficientes, y de que el problema es determinado.

La tercera operación –la de *descubrir los presupuestos*– supondrá un análisis de profundidad variable. Puede dar lugar a la reformulación del problema o incluso a su eliminación.

La cuarta operación –la *localización del problema*– se ejecuta automáticamente en las ciencias ya desarrolladas, pero está muy lejos de ser obvia en las disciplinas más jóvenes. Por ejemplo, los problemas de percepción, de semántica empírica, y hasta los referentes a doctrinas políticas, siguen a menudo clasificándose como filosóficos. Consecuencia de esa mala localización es que se elige entonces un trasfondo de conocimiento y unos métodos inadecuados, y el problema entero se pierde. La correcta localización de problemas, particularmente en las ciencias más recientes, requiere una visión científica amplia y al día.

La quinta operación –la *selección del método*– es, naturalmente, trivial cuando no se conoce más que uno; pero éste no es siempre el caso: a menudo existen varios métodos o pueden desarrollarse varios para obtener soluciones equivalentes o de clases diversas (por ejemplo, de varios grados de aproximación). La formulación del problema debe precisar cuál es el tipo de solución deseado. Así, por ejemplo, pueden resolverse determinadas ecuaciones para obtener soluciones analíticas compactas si se aplican a ellas suficiente trabajo y agudeza; pero para ciertos fines (como la interpretación de las teorías) puede bastar o hasta ser preferible una solución aproximada, mientras que para otros (como la contrastación de teorías) puede bastar una solución numérica en un dominio determinado. Por último, si no sirve ninguna técnica conocida o si ningún método conocido puede dar el tipo de solución que se desea, el investigador se ha visto honrado con un problema de clase nueva, y su atención se desplazará hacia las cuestiones estratégicas.

La sexta operación –*simplificación*– es crucial, porque puede dar lugar a la reformula-

ción de un complejo y rebelde problema en la forma de una cuestión o conjunto de cuestiones más sencillas y tratables. La simplificación de problemas puede llegar a brutales amputaciones que dejen simplemente un núcleo ya sólo ligeramente parecido al problema inicial; esto suele ocurrir en la construcción de teorías, que suele empezar teniendo muy presente lo que parece esencial, aunque un examen más atento puede revelar que es secundario. Los supuestos simplificadores pueden ser grotescos en el primer estadio; así, por ejemplo, una viga real, finita y elástica, puede simplificarse, para representación teórica, concibiéndola como una viga imaginaria de longitud infinita. La eliminación de información irrelevante ("ruidos") es parte de este estadio. A veces la información puede ser relevante, pero, debido a la gran variedad y cantidad de los datos, hay que elegir un número menor de conjuntos de éstos, o sea, hay que tomar sólo unas pocas variables para empezar a trabajar; y esto implica supuestos determinados acerca de las variables que son de importancia primaria y las que son de importancia secundaria.

La séptima operación –*análisis*– consiste en la atomización del problema dado, o sea, en su resolución en problemas más simples que no sean ulteriormente reductibles. El análisis es necesario, pero no suficiente, para obtener una solución: hay problemas de enunciado elemental que han resistido hasta el presente a todos los esfuerzos: por ejemplo, el problema consistente en demostrar que bastan cuatro colores para colorear un mapa de tal modo que no haya dos países contiguos con el mismo color. Lo que se necesita en estos casos no es una formulación más clara ni un conjunto de problemas más simples equivalentes al problema dado, sino una teoría lo suficientemente fuerte, o una técnica de poder bastante.

La octava operación –*planear*– se analizó y ejemplificó en la sección 4.4.

La novena operación –*buscar problemas análogos resueltos*– se relaciona con la localización del problema. Generalmente implica el despoje de la bibliografía relevante, tarea, que se está haciendo cada vez más difícil a causa del incremento exponencial del volumen de la literatura científica. En el caso de problemas difíciles o que consuman mucho tiempo, valdrá la pena confiar esta tarea a máquinas capaces de reconocer la semejanza entre problemas y de seleccionarlos y extractar la literatura relevante. Mientras no se disponga de tales máquinas, la literatura existente es de uso limitado; y, cosa aún más grave, cuando el investigador se da cuenta de su alcance puede verse enterrado por una montaña de papel.

La décima operación –*transformación del problema*– puede resultar necesaria tanto si ha tenido éxito la fase anterior como si no. Los cambios de variables pueden dar lugar a una tal reformulación del problema una vez que éste se haya enunciado en forma matemática. Por ejemplo, el problema "$(?x)\ (ax^2 + bx + c = 0)$" se transforma en el problema atómico "$(?y)[y^2 = (b2 - 4ac)/4a^2]$" mediante el cambio de variable $x = y - (b/2a)$; de hecho, el segundo problema es equivalente al primero y se resuelve mediante la mera extracción de una raíz cuadrada. La reformulación de un problema no afecta, por definición, al problema mismo. A veces, sin embargo, puede plantearse un problema no equivalente; por ejemplo, un término no lineal en una ecuación puede tener que despreciarse por falta de una teoría capaz de tratar la ecuación entera.

La undécima operación –*exportación del problema*– se está haciendo cada vez más frecuente a medida que avanza la integración de las ciencias. Por ejemplo, la distinción

entre grupos animales, a menudo difícil sobre la base de caracteres observables morfológicos, etológicos y superficiales en general, puede conseguirse a un nivel molecular, estudiando acaso las proteínas y sus proporciones: de este modo un problema de sistemática zoológica, erróneamente supuesto simple, se exporta a la bioquímica y los resultados obtenidos en este campo se reconducen finalmente al campo de origen. Este procedimiento se remonta a los orígenes de la aritmética y la geometría, que se introdujeron como instrumentos para convertir operaciones empíricas de contar y medir en operaciones conceptuales.

La duodécima y última operación –*control de la solución*– se comentó en 4.4, pero merece aún una observación más. La solución puede controlarse de alguno de los modos siguientes: repitiendo las mismas operaciones, intentando un planteamiento diferente (por ejemplo, de acuerdo con otra técnica), y viendo si es "razonable". La razonabilidad se estimará por lo común intuitivamente, pero en rigor sólo una teoría y/o un conjunto de datos pueden determinar si una solución es razonable, pues 'razonable' no significa en la ciencia sino compatible con lo conocido, y el cuerpo del conocimiento contiene datos y teorías nada intuitivas.

Esto es aproximadamente todo lo que la heurística –el arte de facilitar la resolución de problemas– puede decir por el momento sin entrar en las diferencias específicas que existen entre los varios campos de la ciencia. Preguntémonos ahora por el destino de los problemas científicos.

Problemas

4.5.1. Ilustrar el análisis de problemas moleculares que los reduce a problemas atómicos con ejemplos tomados de la ciencia factual.

4.5.2. Si se nos encargara la tarea de multiplicar 1.378.901 por 78.000.671, haríamos bien en empezar por hacer un cómputo aproximado, sustituyendo los números dados por un millón y cien millones, respectivamente; el producto, cien millones de millones, sería el orden de magnitud del resultado deseado. ¿Por qué debemos hacer este cálculo aproximado preliminar? *Problema en lugar de ése*: ¿Por qué es deseable anteponer a todo cálculo de mecánica cuántica, cuando es posible, un cálculo grosero de mecánica clásica, o semiclásico?

4.5.3. Algunos filósofos han imaginado que el desiderátum último de la ciencia factual es resolver el problema: "Dar una descripción completa del estado del universo en cualquier instante del tiempo." ¿Es éste un problema razonable en el sentido de ser resoluble y de que su solución tenga un valor cognoscitivo? *Problema en lugar de ése*: Dado un problema, ¿puede ser la primera operación la búsqueda de su solución?

4.5.4. ¿Qué tipo de operación, desde el punto de vista del tratamiento de problemas, realizan los geólogos y arqueólogos cuando apelan a mediciones de la radiactividad para fechar sus hallazgos?

4.5.5. Supongamos que se pesan siete cosas aparentemente idénticas con una escala que llega al miligramo, y que se obtiene para el conjunto el valor medio 100 ± 1 mg. ¿Cuál es el peso medio de cada pieza? Resolver y discutir este problema como prolegómeno al *siguiente*: ¿Debe buscarse siempre una solución exacta?

4.5.6. Supongamos que se ha hallado la solución de un problema. ¿Qué hará uno luego? (Aparte de felicitarse). *Problema en lugar de ése*: Analizar ejemplos de falsa localización de problemas,

como el tratamiento de ciertos problemas sociales, cual la delincuencia juvenil, como problemas psiquiátricos.

4.5.7. Un *procedimiento de decisión* es un procedimiento "mecánico" o "sin pensamiento" para contrastar una expresión desde el punto de vista de su validez (para razonamientos) o de su verdad (en el caso de enunciados). Se utilizan procedimientos de decisión para comprobar las respuestas a problemas de decisión. Dar un ejemplo de procedimientos de decisión. *Problema en lugar de ése*: Explicitar y ejemplificar la distinción entre resolución algorítmica (rutinaria) de problemas y resolución heurística (creadora) de problemas.

4.5.8. El problema consistente en hallar las intersecciones de dos o más líneas puede resolverse si se formulan las ecuaciones de las líneas: los puntos de intersección se determinan en este caso por las soluciones del sistema de ecuaciones resultante. Ejemplificar ese procedimiento y analizarlo desde el punto de vista de las operaciones descritas en el texto. *Problema en lugar de ése*: Analizar la demostración de cualquier teorema dado desde el punto de vista de las indicaciones heurísticas dadas en el texto.

4.5.9. Cuando se dispone de poco conocimiento para demostrar un teorema por un método directo, puede usarse la negación del enunciado que hay que demostrar, haciéndola funcionar como premisa; si se deduce entonces una contradicción, la premisa tiene que ser falsa, y el enunciado inicial tiene que ser verdadero. Analizar esta técnica (demostración indirecta) con la ayuda de los conceptos introducidos en el texto. *Problema en lugar de ése*: Dilucidar la noción de subproblema relacionándola con los conceptos de problema atómico y de fuerza o generalidad de un problema (véase sección 4.2).

4.5.10. Estudiar las capacidades y las limitaciones de las máquinas calculadoras para resolver problemas. *Problema en lugar de ése*: Informar acerca del estado actual de la psicología de la resolución de problemas. Véase P. N. Johnson-Laird y P. C. Wason (comps.), *Thinking*, Cambridge, Cambridge University Press, 1977.

4.6. EL FIN DE LOS PROBLEMAS CIENTÍFICOS

Los problemas científicos pueden ser olvidados, eliminados, aclarados, resueltos, objeto de una demostración de irresolubilidad o abandonados para entretenimiento de futuras generaciones. En ningún caso se declara que un problema científico sea un misterio situado más allá de la razón humana. Vamos a estudiar por separado los diversos modos por los cuales se termina un problema.

1. *El olvido*

Algunos problemas desaparecen de la escena científica sin haber sido explícitamente eliminados ni resueltos: por alguna razón, que suele ser extracientífica, esos problemas dejan de atraer la atención de las nuevas generaciones de científicos. Así, por ejemplo, la mayoría de los problemas relativos al origen de las actividades y las instituciones sociales siguen sin resolver, pero hoy día no se estudian ya con el entusiasmo que suscitaron en los tiempos de la expansión inicial de la teoría de la evolución. Análogamente, la botánica y la zoología de los invertebrados están hoy día poco de moda. La profesionalización de la ciencia ha producido cierto carrerismo, y el carrerista desea mostrar que está completamente al día: éste es un motivo ilegítimo del abandono de genuinos problemas que

observamos en nuestra época. Pero el fenómeno tiene también motivos legítimos. Uno es el hecho de que tareas nuevas y más urgentes pueden desplazar problemas viejos, genuinos, pero irresueltos y menos urgentes. Otra causa legítima del olvido de problemas es que la invención de una nueva teoría tiende a retirar la atención de problemas aislados para dirigirla hacia nuevos y enteros sistemas problemáticos que se han hecho accesibles con la nueva teoría: de este modo se sustituye una clase entera de problemas laxamente relacionados por un sistema problemático densamente estructurado. Una tercera razón legítima puede ser que no se disponga aún de una teoría adecuada para dar respuesta a las cuestiones que van cayendo en el olvido. En este caso el problema no queda totalmente olvidado, sino más bien pospuesto en favor de problemas más tratables, como está ocurriendo con los problemas más profundos (y, a menudo, más nebulosos) del comportamiento humano. En cualquier caso, un buen problema olvidado será redescubierto con gran probabilidad, tal vez en un contexto antes del todo insospechado.

2. *La eliminación*

La ciencia no progresa sólo mediante la resolución de problemas, sino también gracias a la eliminación de ciertas preguntas, mostrando, por ejemplo, que carecen de interés. Los problemas legítimamente eliminables son de las clases siguientes:

2.a. *Problemas triviales*: problemas que, incluso bien formulados, son superficiales y están mal constituidos, es decir, no entran en teorías fecundas o programas prometedores. Ejemplos de problemas triviales son el contar los guijarros de una playa o el tabular funciones poco frecuentes, sin ulterior finalidad. Son triviales algunos problemas propios del estadio descriptivo de la ciencia (por ejemplo, de la biología pre-evolucionista, de la ciencia pre-teorética del comportamiento; un modo de progresar ha sido siempre en estos casos el eludir tales problemas, el abstenerse de formular preguntas triviales que no requieren el concurso de teorías, y concentrar los esfuerzos sobre tareas más difíciles y prometedoras. El grado de progreso de una ciencia no se mide por el número de problemas que plantea, sino por la profundidad y la complejidad de los mismos. Las ciencias del hombre siguen planteando problemas mucho más sencillos que los de la física, y se los plantean tan fáciles simplemente porque nuestro conocimiento sistemático del hombre es mucho más pobre que nuestro conocimiento sistemático de los átomos. Cuanto más sabemos, tanto mas profundas son las preguntas que podemos formular; y cuanto más profundas son las preguntas a las que damos respuesta, tanto más sabemos. Los objetos de una ciencia no son intrínsecamente simples ni complejos: es nuestro planteamiento el que puede ser simplista o profundo.

2.b. *Pseudoproblemas*: preguntas mal formuladas o mal concebidas. La filosofía tradicional rebosa de pseudoproblemas, pero de vez en cuando estos pseudoproblemas penetran también en cabezas científicas. Ejemplo de pseudoproblema clásico es "¿Cuándo fue creado el universo?", el cual presupone que el universo ha sido creado por un acto sobrenatural, hipótesis insusceptible de contrastación. Basta, pero es necesario, un análisis de los presupuestos para eliminar pseudoproblemas de esta clase.

2.c. *Quimeras*: preguntas fantasiosas que quedan fuera de todo contexto científico. Ejemplos: hallar la piedra filosofal y la Fuente de la Juventud, establecer comunicación con los muertos y comunicarse con otras personas sin emplear los sentidos. Las quime-

ras, como los pseudoproblemas, tienen presupuestos falsos. Así, por ejemplo, la quimera que consiste en intentar comunicarse con los muertos presupone la existencia de un alma inmortal o, al menos, independiente del cuerpo. Lo que distingue las quimeras de los pseudoproblemas es su intención práctica: del mismo modo que algunos pseudoproblemas pertenecen a la pseudociencia, las quimeras pueden dar origen a una tecnología de la pseudociencia.

3. *La aclaración*

En algunos casos la investigación no resuelve ciertos problemas, sino que los aclara. Por ejemplo, la cuestión "¿Qué es la vida?" ha ido aclarándose en el curso del siglo pasado hasta el punto de que lo que ahora se busca como propiedad distintiva de la materia viva es un tipo especial de organización o estructura, y no una sustancia o agente especial; esa aclaración representa un planteamiento nuevo del problema, esto es, su reformulación, con un cambio del trasfondo del mismo. Una vez aclarado un problema mediante su formulación más exacta y la explicitación de sus relaciones con el trasfondo del conocimiento relevante, aumenta la probabilidad de que se resuelva.

A veces ocurre precisamente lo inverso, o sea, que la naturaleza del problema se aclara a la luz de su solución. Así, por ejemplo, si se obtiene una solución absurda se aprecia que el problema estaba mal formulado, y si se obtienen varias soluciones incompatibles se ve que el problema es indeterminado. Este último es el caso de las varias posibles interpretaciones del formalismo matemático de la mecánica cuántica: la mera multiplicidad de soluciones incompatibles propuestas a ese problema debería mostrar que el problema mismo de interpretar una estructura formal con conceptos físicos es indeterminado mientras no se precisen claramente sus presupuestos filosóficos; en este caso los presupuestos se refieren a la existencia de los correlatos o relata de las construcciones hipotéticas, así como a la naturaleza del conocimiento. Consiguientemente, la discusión de esas interpretaciones debe ir precedida por una discusión filosófica general que conduzca a la formulación y la fundamentación explícita de dichos presupuestos filosóficos. En cualquier caso, la aclaración de problemas es uno de los caminos del progreso científico. Cuanto antes los administradores de la ciencia se den cuenta de la importancia de esta tarea de aclarar problemas, tanto mejor será para la marcha de la investigación.

4. *La resolución*

Las soluciones son de tres tipos por lo que hace a su valor veritativo: verdaderas, aproximadamente verdaderas y falsas. La mayoría de las soluciones de la ciencia factual son totalmente falsas o, en el mejor de los casos, parcialmente verdaderas; esto las diferencia agudamente de las de la ciencia formal, en la cual la mayoría de las proposiciones son (formalmente) verdaderas. La mayoría de los problemas de la ciencia factual tienen soluciones sólo aproximadas: sólo los problemas relativamente triviales tienen soluciones exactas. Lo importante no es conseguir soluciones totalmente verdaderas para problemas de todas clases; esto es una quimera, o sea, un problema que hay que eliminar. Lo importante es poseer medios para corregir errores e imprecisiones y perfeccionar las soluciones disponibles.

En la ciencia formal es a menudo posible descubrir técnicas normadas para obtener

soluciones y/o para comprobarlas: las primeras se llaman *algoritmos,* las últimas *procedimientos de decisión*, o decisorios. Si se dispone tanto de algoritmos cuanto de procedimientos decisorios para una determinada clase de problemas, entonces se dice que éstos son *efectivamente resolubles.* Si no existe ningún algoritmo, de modo que el investigador tiene que proceder por ensayo y error, utilizando su intuición y guías heurísticas, pero sigue siendo posible reconocer la solución como tal mediante un procedimiento mecánico, se dice que el problema está *bien determinado.* Si para una clase de problemas no se dispone de algoritmo y/o procedimiento de decisión, pueden presentarse las siguientes situaciones: (*i*) existen demostraciones de que son posibles ambas técnicas o una de ellas, pero éstas se ignoran; (*ii*) no existe demostración de que esas técnicas sean posibles ni de que sean imposibles; (*iii*) existen demostraciones de que ambas técnicas normadas o una de ellas son imposibles. Si este último es el caso, puede ser que el problema concreto sea resoluble, pero lo será de un modo artesano o artístico, y no a la manera de la producción normada posibilitada por el cálculo automático. (Dicho sea de paso, el actual interés por los problemas efectivamente resolubles se debe en parte al *boom* de las calculadoras, y contribuye a su vez a sostenerlo. Lo cual es lamentable, porque los problemas efectivamente resolubles son en realidad problemas de rutina; no lo es, desde luego, la investigación de las condiciones de la computabilidad efectiva.)

Por último, se dice que un problema es *irresoluble* si y sólo si está *demostrado* que no puede alcanzarse ninguna solución del mismo con los medios dados; el veredicto de irresolubilidad del problema no es una sentencia dogmática, sino la solución del metaproblema "¿Es resoluble?" Por ejemplo, es posible demostrar (K. Gödel) que determinados enunciados aritméticos no son demostrables con métodos finitistas, y que ni siquiera puede demostrarse con ellos la consistencia de la aritmética elemental. Este resultado, pese a su importancia para la filosofía de la ciencia formal, es relativamente irrelevante para la filosofía de la ciencia factual, puesto que ni un solo enunciado factual puede *demostrarse*: a lo sumo puede justificarse satisfactoriamente (pero también sólo provisionalmente), Y ésta no es ninguna razón para desesperar, porque, en cualquier caso, el conjunto de los problemas es potencialmente infinito.

En resolución, los problemas de la ciencia formal caen en alguna de las clases expuestas en la clasificación siguiente:

- *Problemas*
  - *Resolubles*
    - *Efectivamente* (algoritmo y procedimiento decisorio)
    - *Bien determinado* (procedimiento decisorio)
    - *Mal determinado* (ni algoritmo ni procedimiento de decisión)
  - *Irresolubles*

La decisión por la cual se coloca un problema en alguna de las categorías expuestas va precedida por una demostración rigurosa; en la ciencia factual esas demostraciones son imposibles.

Si no se ha hallado la solución de un determinado problema factual después de haber aplicado las recetas de la heurística (sección 4.5), pueden intentarse sucesivamente las

siguientes operaciones. (*i*) *Volver a examinar la formulación del problema*: asegurarse de que se trata de un problema bien formulado y de que se tienen todas las premisas (datos e hipótesis) y las técnicas adecuadas. (*ii*) *Ensayar con otros medios conocidos* (teorías y técnicas). (*iii*) *Inventar nuevos medios más poderosos*. Puede ocurrir que incluso después de volver a examinar la formulación del problema y de intentar aplicarle otras teorías y técnicas el problema siga siendo indominable, como es el caso del problema de los tres cuerpos en física. Puede entonces sospecharse que el problema es irresoluble, o, más precisamente, que es irresoluble con los medios concretos utilizados, pues la resolubilidad es contextual, no absoluta.

¿Existen en la ciencia problemas irresolubles? Sin duda: basta con limitar los datos, la teoría o la técnica para producir una secuencia infinita de problemas irresolubles. Y como los datos, las teorías y las técnicas son siempre de precisión limitada, es innecesario practicar aquella limitación artificial. Citemos unos pocos problemas típicamente irresolubles. (*i*) Describir la historia de cualquier guijarro dado de una playa. (*ii*) Suponiendo que nuestra presente era cósmica empezó con un cataclismo que destruyó las huellas de eras anteriores, reconstruir éstas. (*iii*) Hallar una evidencia de la existencia de la vida en el periodo pre-cámbrico. Esos problemas son irresolubles por falta o insuficiencia de evidencia empírica. Además, su irresolubilidad no es circunstancial, o sea, que pueda eliminarse en el futuro: no existe ya el material de evidencia empírica que haría falta encontrar para conseguir las deseadas reconstrucciones.

El darse cuenta de que existen problemas que serán siempre irresolubles no debe cegar respecto del carácter relativo o contextual de la resolubilidad. Todo problema se plantea sobre un trasfondo de datos, teorías y técnicas, y, por tanto, la resolubilidad de problemas no es absoluta, sino *relativa* a su trasfondo y al cuerpo de conocimiento nuevo que se consiga en el curso de su investigación. Si no dispusiéramos más que de métodos químicos para transformar los átomos, fracasaríamos como fracasaron los atomistas; pero si se introducen nuevos métodos más potentes, como el bombardeo con proyectiles subatómicos, se puede tener éxito en la empresa. Análogamente, la trisección de un ángulo con sólo regla y compás es imposible; pero si se abandona la exigencia puesta por la filosofía constructivista griega de la matemática y se traslada el problema a la aritmética, la cuestión se hace trivial. Consecuentemente, a menos que se haya demostrado que un determinado problema es irresoluble, nos abstendremos de pensar que vaya a fracasar todo intento de resolverlo; y cuando demostramos la irresolubilidad, no debemos olvidar la indicación de los medios con los cuales es irresoluble el problema. Lo único que puede afirmarse, igual en la ciencia formal que en la factual, es esta *irresolubilidad relativa* o *condicional*. Y la afirmación de que un problema es irresoluble con los medios dados equivale a la afirmación de que *los medios dados son insuficientes para resolver el problema en cuestión*. Este modo de hablar es preferible porque no centra la dificultad en el problema, sino en los medios, y así, en lugar de apartarnos de los problemas irresolubles, dirige nuestra atención hacia la búsqueda de nuevos medios más potentes.

Según el obscurantismo, no sólo existen problemas intrínsecamente irresolubles, misterios, sino que, además, un problema es tanto más misterioso cuanto más profundo. La tradición ilustrada, por el contrario, afirma la resolubilidad de todo tema, con las siguientes condiciones: (*i*) que el problema esté bien formulado; (*ii*) que se disponga de los medios

necesarios; (*iii*) que lo que se busque no sea físicamente imposible (o sea, incompatible con las leyes de la naturaleza), y (*iv*) que el término no sea limitado. En resolución, lo que la tradición ilustrada afirma es una resolubilidad *cualificada*: no dice que todo problema sea resoluble, sino que es resoluble *en principio* todo problema científico *bien formulado*, si se cuenta con los medios adecuados (datos, teorías y técnicas). Es claro que esta afirmación concuerda con la historia de la ciencia, mientras que la tesis obscurantista queda refutada por dicha historia. Pero no se trata aquí de demostraciones, pruebas o refutaciones en sentido estricto. Una refutación de la tesis ilustrada consistiría en una demostración de la existencia de al menos un problema absolutamente irresoluble y, consiguientemente, capaz de resistirse a cualquier estrategia. Pero esta demostración tendría que contemplar todo el tiempo futuro, tarea imposible, porque presupone erróneamente que el presente muestra ya todas las semillas del futuro. Por tanto, adoptaremos la tesis de que todo problema científico bien formulado y bien concebido es resoluble en principio; ésta es una conjetura programática fecunda.

¿Qué viene después de la solución? Cuando un animal o una calculadora han resuelto un problema quedan en reposo. Cuando un hombre ha resuelto un problema cognoscitivo, lo más probable es que el investigador mismo u otra persona, inmediatamente o poco después, suscite toda una nueva serie de cuestiones problemáticas relacionadas con la resuelta. La investigación es una reacción en cadena autosostenida a causa del carácter imperfecto y sistémico del conocimiento científico: la solución recientemente conseguida puede sin duda mejorarse y puede provocar correcciones en el conocimiento anterior, correcciones que pueden a su vez suscitar enteras líneas nuevas de investigación; o tal vez la solución pueda generalizarse, o especializarse, o sugerir una analogía fecunda para la resolución de otro problema, o hasta iniciar una vía nueva por territorio nuevo. La resolución de problemas científicos no es ni como llenar un recipiente finito ni como tejer una tela de Penélope; ni siquiera es como la exploración de un universo infinito, pero ya listo. La marcha de la ciencia consiste en *construir* nuevos problemas sistemáticos, más que en descubrir problemas existentes; estos nuevos problemas sistemáticos se solapan parcialmente con los viejos y, lejos de ser menores que éstos, suelen ser de mayor entidad: no sólo más numerosos, sino, además, más profundos y más generales.

El mejor criterio aplicable para averiguar si una disciplina sigue viva consiste en mirar si aún plantea nuevos problemas cuyas soluciones aumentarían sustancialmente nuestro conocimiento. (En este sentido está muerta la mecánica de Aristóteles, mientras que la de Newton sigue viva, no sólo desde el punto de vista de los problemas de rutina, sino también por lo que hace a los problemas de investigación.) Análogamente, el rasgo peculiar que distingue al investigador original de toda otra persona es la capacidad de hallar, inventar y tratar problemas nuevos. No pueden plantearse problemas nuevos en el marco de una doctrina muerta: ésta permite el trabajo de comentaristas, pero no el de investigadores, que es el que puede llevar adelante la materia. Si los problemas considerados se proclaman resueltos, no puede haber nada que progrese. Las soluciones intocables y los problemas de planteamiento prohibido ponen un límite a la investigación científica. Pero este límite, aunque el dogmático lo acepte voluntariamente, no es obra de la ciencia misma, la cual es esencialmente problematizadora. La ciencia viva no reconoce limitaciones intrínsecas eternas, pues consiste en tratar sistemas pro-

blemáticos, y los problemas se presentan en haces y no desaparecen sin dar nacimiento a ulteriores cuestiones.

Suele considerarse molestos a los investigadores que buscan problemas. Y con razón, pues una inteligencia que pregunta es una inteligencia crítica, que no se contenta con logro alguno, por grande que éste sea, pues percibe que tiene que ser imperfecto y, por tanto, perfectible. El progreso humano depende cada vez más del investigador que busca problemas, y una sociedad libre es aquella en la cual el planteamiento de problemas de todas clases y la investigación de los mismos no conoce más límites que los impuestos por el estado del conocimiento. Debemos más a los que, por no saber, preguntan y buscan respuestas que a los sabios en posesión de la verdad y que pueden dar respuesta sin error a toda pregunta; pues sin error quiere decir en este caso sin contradecir la opinión recibida. El más sabio de los sabios no es el que conoce más soluciones –el erudito–, sino el que sabe lo suficiente para plantear y atacar sistemas problemáticos enteramente nuevos y fecundos, y tiene el valor moral de hacerlo.

El reconocer que son los problemas los que, irradiando ideas, mantienen en movimiento el aparato de la ciencia debería modificar la corriente filosófica de la ciencia, centrada hoy sobre los datos más que sobre lo buscado. Además, debería tal vez producir cambios profundos en la habitual psicología de la inteligencia, que está hoy comprometida por la definición de "inteligencia" como la capacidad de dar respuestas a preguntas (demasiadas veces formuladas por experimentadores poco inteligentes), en vez de como la capacidad de responder y de formular preguntas originales. Un tal paso de la resolución al planteamiento de problemas debería afectar a su vez a nuestra política educativa y a sus técnicas, las cuales apuntan por ahora al aprendizaje eficaz de recetas para la resolución de problemas y de soluciones ya listas. Una política educativa no dogmática, que estuviera de acuerdo con el espíritu de la ciencia y no nos empujara a entablar una carrera de competición con las máquinas de calcular, estimularía el proceso de maduración de una actitud inquisitiva y de los métodos y las teorías de más potencia: sería una pedagogía centrada en el problema, y entrenaría así al hombre a compensar la rápida decadencia de la opinión recibida.

Problemas

4.6.1. Ilustrar los conceptos de problema trivial, pseudoproblema y quimera.

4.6.2. Considerar los siguientes modos de tratar contradicciones. (*i*) Eliminación de una de las proposiciones o teorías en conflicto mostrando que es falsa. (*ii*) Conciliación o armonización de ambas. (*iii*) Sintetización o construcción de un tercer sistema que recoja los elementos válidos y mutuamente coherentes del par dado. (*iv*) Construcción de una proposición o teoría completamente nueva.

4.6.3. Mencionar algunos problemas considerados irresolubles y luego resueltos. Ejemplos: (*i*) ¿Existen los átomos o son meras ficciones? (*ii*) ¿Cuál es la naturaleza de la afinidad química? (*iii*) ¿Es posible controlar la mente por medio de agentes materiales (por ejemplo, drogas y medicamentos)?

4.6.4. Citar unos cuantos problemas actualmente irresueltos. Ejemplos válidos al redactar este libro: (*i*) ¿Qué fuerzas mantienen cohesionadas a las partículas nucleares? (*ii*) ¿Existen los

gravitones (quanta de gravitación)? (*iii*) ¿Es el universo espacialmente finito o infinito? (*iv*) ¿Qué produce las mutaciones de los genes: agentes externos (por ejemplo, rayos cósmicos) o cambios internos (como los del metabolismo celular)? (*v*) ¿Cuál es el mecanismo de la síntesis de proteínas? (*vi*) ¿Por qué los híbridos son más vigorosos que sus antepasados inmediatos? (*vii*) ¿Cuáles son las propiedades funcionales del cerebro que dan razón del movimiento muscular voluntario? (*viii*) ¿Cuál es la causa inmediata del parto? (*ix*) ¿Por qué envejecemos? (*x*) ¿Cuál es el mecanismo neural de la hipnosis?

4.6.5. Comentar el siguiente fragmento de S. Alexander, "Natural Piety", 1922, reimpreso en D. J. Bronstein, Y. H. Krikorian y P. P. Wiener (eds.), *Basic Problems of Philosophy*, Nueva York, Prentice-Hall, 1955, pp. 517ss: "La piedad natural de que me dispongo a hablar es la del investigador científico, por la cual acepta lealmente los misterios que no puede explicar en la naturaleza y que no tiene el derecho de intentar explicar. Puedo describirla como el hábito de saber cuándo hay que dejar de preguntar cuestiones naturales [...] Hay una enfermedad mental de la pregunta, manía metafísica que no puede aceptar nada, ni lo más trivial, sin exigir explicación." *Problema en lugar de ése*: Distinguir entre *Ignoramus* (ignoramos) e *Ignorabimus* (ignoraremos siempre), que es distinguir entre modestia y humildad.

4.6.6. La siguiente es una versión tecnológica de la ley de la conservación de la energía: "Es imposible construir máquinas de movimiento continuo, esto es, aparatos que funcionen sin que se les suministre energía." ¿Refuta esa afirmación la conjetura programática "Todo problema científico bien formulado es en principio resoluble?" *Problema en lugar de ése*: ¿Es concebible una máquina que plantee problemas originales en lugar de ayudar a resolver problemas?

4.6.7. Kant sostenía que habría siempre contradicciones o antinomias irresolubles, o sea, pares de proposiciones recíprocamente contradictorias e igualmente probables relativas a cuestiones fundamentales. Comentar esa tesis y, si es posible, examinar el estado actual de las antinomias propuestas por Kant en su *Kritik der reinen Vernunft*, 2a. ed., 1787, p. B 454. *Problema en lugar de ése*: Discutir el olvido de problemas producido por la pérdida de prestigio de las teorías de las cuales se originaron. Ejemplo: problemas importantes relativos al origen y a la evolución biológicos, así como problemas antropológicos y sociológicos de ese mismo tipo, se olvidaron durante el eclipse de la teoría de la evolución en las décadas de 1920 y 1930.

4.6.8. Comentar los siguientes pronósticos en conflicto acerca del futuro de la física: (*i*) "Los futuros desarrollos de la física teórica consistirán en aplicaciones de las actuales teorías, las cuales son esencialmente correctas." (*ii*) "La próxima revolución de la física teórica será la última, y consistirá en introducir una sola idea maestra que permitirá la solución de todas las dificultades actuales". (*iii*) "Las próximas revoluciones de la física teórica consistirán cada una de ellas en la introducción de una nueva idea poderosa que ayudará a resolver las dificultades actuales y planteará toda una serie de problemas nuevos hoy inconcebibles." *Problema en lugar de ése*: Comentar la corriente frase: 'Esa solución plantea más problemas de los que resuelve.' ¿Por qué se usa tan a menudo despectivamente? En qué contexto es aceptable: ¿en el de la ciencia o en el de los asuntos prácticos?

4.6.9. Construir una teoría sobre la tasa de resolución de problemas y la de descubrimiento de problemas en la ciencia. Indicación: afinar y matematizar las siguientes hipótesis. *Axioma* 1: La tasa de descubrimiento de nuevos problemas en un determinado campo es proporcional al número de problemas resueltos en ese campo. *Axioma* 2: La tasa de resolución de problemas es proporcional al número de problemas nuevos en el mismo campo. De esos dos supuestos inferimos el *Teorema*. El número de problemas nuevos en un determinado campo es proporcional al número de soluciones disponibles en ese campo, o sea: $N = kS$. Para una ciencia moribunda, $0 \leq k < 1$, y para una ciencia naciente, $k > 1$; para una ciencia estacionaria, $k = 1$. *Problema en lugar de ése*: Especular acerca de la posible evolución de una cultura que no prestara atención más que a la

resolución de problemas y despreciara todo problema no manejable con la ayuda de calculadoras del tipo hoy existente.

4.6.10. Dilucidar los conceptos de *complejidad* y *profundidad de un problema*, tal como se presentan en los siguientes ejemplos: La resolución de las ecuaciones de movimiento para un número de cuerpos que están en interacción de un modo conocido es un problema extraordinariamente complejo, pero no profundo: se conocen las fuerzas y las leyes, por tanto, no hay más que la dificultad, de habilidad matemática, de inventar una técnica para hallar soluciones aproximadas al problema, o incluso sólo de paciencia y habilidad para programar calculadoras que hagan ese trabajo. En cambio, el problema del equilibrio y las transformaciones de un haz de partículas nucleares es complejo y profundo, porque ni las fuerzas ni las leyes del movimiento se conocen con precisión en este caso. *Problema en lugar de ése*: Hoy día se gasta mucho tiempo en recuperar información (sepultada en revistas científicas viejas u oscuras). ¿Qué se hace por *recuperar problemas* injustamente olvidados?

4.7. PROBLEMAS FILOSÓFICOS

Filósofos de primera mano son los que estudian problemas filosóficos; filósofos de segunda mano son los que estudian lo que han dicho o dejado de decir los filósofos de primera mano. Los primeros atienden a los problemas, los segundos a sus soluciones. Los primeros se interesan primariamente por las ideas, los segundos por la expresión de las ideas y las circunstancias concomitantes de su nacimiento y su difusión. Al igual que unos escritores tratan la vida y otros tratan de libros que tratan de la vida, así también los filósofos de primera mano realizan la actividad filosófica primaria, mientras que los filósofos de segunda fila registran, comentan, explican, desarrollan o critican lo que hacen los primeros.

Esas afirmaciones no son valorativas, sino descriptivas: las dos clases de filósofos existen realmente y, además, ser de "mano" *n* no es lo mismo que ser de categoría *n*: filósofos de primera mano (originales) pueden ser pensadores de segunda categoría, y hasta charlatanes, mientras que filósofos de segunda mano pueden ser pensadores de primera categoría. Las dos clases de filósofos son necesarias para que viva la filosofía, pero el progreso filosófico, igual que el de la ciencia, exige comprender claramente que (*i*) la investigación original consiste en descubrir, inventar, disolver y resolver problemas –a poder ser profundos y fecundos–, y (*ii*) que la investigación original es imprescindible para mantener una disciplina en vida.

Aunque todo eso sea obvio, valía la pena repetirlo a causa de lo popular que sigue siendo la idea de que la filosofía es simplemente un conjunto enseñable de temas y opiniones –o sea, un conjunto de doctrinas– y no un conjunto de problemas con los que luchar. Cuando los sostenedores de la concepción doctrinal aluden a problemas filosóficos, no piensan en problemas propiamente dichos, sino más bien en grandes áreas temáticas, como "el problema del conocimiento". Si se les pide que indiquen un miembro concreto de un tal sistema problemático, es posible que no entiendan la petición y contesten ofreciendo algún problema histórico –por ejemplo, "¿Cuál habrá sido la influencia de *A*?"–, o algún problema lingüístico –por ejemplo, "¿Qué quiere decir la gente con

esto cuando dice que piensa lo que dice?"–, o tal vez un problema psicológico –por ejemplo, "Si por una distracción olvido mi dolor de cabeza, ¿hace eso que deje de dolerme la cabeza o sólo que deje de sentir el dolor?" (éste es efectivamente un problema puesto a concurso por *Analysis* para enero de 1953). Problemas históricos, psicológicos, lingüísticos y de otras clases ocupan a los filósofos de primera y de segunda mano, al igual que los citólogos tienen que ocuparse de sus microscopios electrónicos, los arqueólogos de sus coches para todo terreno y los prehistoriadores de los datos geológicos. La investigación de problemas históricos, lingüísticos, psicológicos y de otras clases puede iluminar problemas filosóficos y es a menudo una propedéutica de éstos; pero dichos problemas no son filosóficos.

¿Qué es un problema filosófico? He aquí un problema de teoría de la filosofía, y hay tantas metafilosofías cuantas filosofías. Si se adopta un punto de vista un tanto tradicional, la respuesta puede darse en forma de una simple *Definición* denotativa: "Un problema filosófico es un problema de lógica, epistemología u ontología". Si se pide una aclaración de esa definición puede añadirse que un problema filosófico es un problema de forma, o de conocimiento, o referente al ser. Pero todo eso es oscuro e insuficiente: la cuestión de si dos sistemas conceptuales, como dos teorías, son isomorfos o no, es un problema de forma, pero puede ser estrictamente matemático; el averiguar cómo tenemos conocimiento de cosas que no han sido objeto de experiencia es un problema de conocimiento, pero no epistemológico (no lo es, por lo menos, desde que lo ha recogido la psicología); y preguntarse por la naturaleza de los enzimas es un problema referente al ser, pero no un problema ontológico. Los problemas lógicos se incluyen en el amplio conjunto de los problemas formales. Son problemas genéricos que se refieren a la forma y pueden presentarse en cualquier investigación. En cualquier campo podemos tener que tratar problemas como "¿Es p equivalente a q?", "¿Es q deducible de p?", "¿Es p, que contiene el concepto C, traducible por alguna proposición equivalente que no contenga C?" Los problemas epistemológicos no son problemas que se refieran propiamente al conocimiento, sino ciertos problemas no empíricos sobre él, tales como "¿Cuáles son los criterios de la verdad factual?", "¿Cuál es el valor veritativo de la conjunción de dos enunciados parcialmente verdaderos?", "¿Cómo se someten las teorías a contrastación?", o "¿Cuál es el papel de la analogía en la inferencia científica?" Y los problemas ontológicos no son problemas específicos referentes al ser, sino problemas genéricos, no empíricos, que se refieren a rasgos generales de la realidad, tales como "¿Qué relación hay entre el tiempo y el cambio?", "¿Hay clases naturales?", "¿Es el azar irreductible?", "¿Es la libertad compatible con la legalidad?", o "¿Cómo se relacionan los distintos niveles?" Con estas precisiones podemos conservar la anterior definición del problema filosófico, aunque dándonos cuenta de que toda definición denotativa es evasiva.

Una peculiaridad de los problemas filosóficos consiste en que en su planteamiento no se presentan datos empíricos (como momentos nucleares o datos históricos). Los datos empíricos pueden ser, sin embargo, relevantes para el filosofar: pueden dar origen a problemas filosóficos y pueden refutar soluciones a problemas filosóficos; pero no pueden presentarse en su formulación, porque si lo hicieran los problemas filosóficos se investigarían con medios empíricos, o sea, pertenecerían a alguna ciencia empírica. En segundo lugar, los problemas filosóficos no pertenecen a ninguna ciencia particular, ni por su tema

ni por su método, aunque la investigación científica –como veremos en la sección 5.9– presupone y sugiere tesis filosóficas (por ejemplo, la realidad del mundo externo) y teorías filosóficas (por ejemplo, la lógica ordinaria). En tercer lugar, todos los problemas filosóficos son conceptuales, pero algunos de ellos –por ejemplo, el sistema problemático de las leyes científicas– presuponen un cuerpo de ciencia factual. Consiguientemente, se resuelven (o disuelven) a menudo con la ayuda de la ciencia o en la misma ciencia. Es posible que los filósofos hayan hecho mucho más al plantear cuestiones inteligentes luego acaso recogidas por la ciencia que proponiendo extravagantes soluciones a raros problemas. En cuarto lugar, los problemas filosóficos de las clases que no son la lógica son irresolubles de un modo plenamente exacto, particularmente si se relacionan con la ciencia, la cual no es nunca definitiva. Por eso los problemas epistemológicos y ontológicos, como los problemas fundamentales de la ciencia factual, son eternos en el sentido de que no tienen solución definitiva. Pueden ir recibiendo soluciones cada vez mejores, y en algunos casos pueden dejar de interesar a los espíritus investigadores, pero siempre quedarán, en el mejor de los casos, a medio resolver. Esto, naturalmente, no nos exime de ser precisos en la formulación y la concepción de los problemas filosóficos: la solución será tanto más verdadera cuando mejor formulado y concebido haya sido el problema.

Una quinta peculiaridad, la más desgraciada, de los problemas filosóficos que no son estrictamente lógicos es que no suele haber criterios para reconocer las soluciones, y menos aún, naturalmente, para decidir si una solución dada es correcta. Es sabido que algunas cuestiones filosóficas son intrínsecamente indecidibles: no son propiamente problemas, sino pseudoproblemas, como el siguiente: "¿Cuánto más ser tiene el hombre que los animales inferiores?" (pregunta realmente planteada en el XII Congreso Internacional de Filosofía, 1958). Pero lo que ha confundido a bastantes pensadores es que numerosos problemas filosóficos genuinos hayan sido objeto de largas e inconcluyentes controversias. ¿Son los problemas filosóficos *per se* los que son impropios, o se encuentra el defecto en nuestra torpeza para formularlos y para estipular las técnicas que permitirían contrastar las soluciones filosóficas (es decir, las hipótesis y teorías filosóficas)? Antes de refugiarse en una respuesta pesimista hay que recordar que la lógica formal entera y la mayor parte de la semántica se han convertido en disciplinas rigurosas, hasta el punto de que hoy se las considera frecuentemente como ciencias independientes. Esos éxitos sugieren la adopción de una determinada metodología filosófica, y más precisamente la de una inspirada en el método de la ciencia.

Proponemos las siguientes reglas como una base metodológica filosófica. Primera, que el tratamiento de problemas filosóficos no lógicos debe armonizar con la lógica ordinaria: por tanto, los errores lógicos bastarán para invalidar el discurso filosófico, enteramente o en parte; no descalificarán todo problema filosófico, ni siquiera todo programa filosófico, pero seguramente eliminarán mucha argumentación filosófica. Segunda, que el tratamiento de los problemas filosóficos no lógicos no debe chocar con el cuerpo principal del conocimiento científico, y, además, debe estar al día científicamente; esto no condenará las heterodoxias científicas mientras se produzcan dentro del espíritu de la ciencia, pero eliminará mucho sin-sentido. Tercera, que la formulación y la elaboración de los problemas filosóficos, así como la comprobación de las soluciones propuestas, tienen que discurrir paralelamente con las correspondientes operaciones de la ciencia: el

método del filosofar debe ser científico. Cuarta, que las soluciones propuestas a problemas filosóficos deben juzgarse sólo desde el punto de vista de su valor veritativo, independientemente de consideraciones no cognoscitivas –políticas, por ejemplo. Esas cuatro reglas del filosofar de la estimación del trabajo filosófico guiarán ya la elección de los problemas filosóficos. Si no se respeta la lógica, puede estudiarse cualquier absurdo, desde el hegelianismo hasta el existencialismo; si no se respeta el acervo de la ciencia, podrá plantearse cualquier cuestión superficial o hasta estúpida, como la de si existen huellas del futuro; si no se imita el método de la ciencia, se renunciará al beneficio de la más lograda experiencia humana; y si la aspiración del filosofar no es buscar la verdad (la búsqueda de verdad perfectible), se obtendrá la sierva de cualquier doctrina fósil.

El problema de la elección del problema adecuado y del correcto planteamiento es tan importante en la filosofía de la ciencia como en cualquier otra rama del conocimiento. Aquí, como en el resto de la filosofía, se presenta la tentación de no proceder sino por caminos abiertos por la autoridad, cualquiera que sea la relevancia del problema tradicional para la real investigación científica. Ejemplos recientes característicos de este tipo de problema son los siguientes: (*i*) la cuestión de los condicionales contrafácticos, cuya solución se presenta como un requisito previo a la teoría de la ley científica; (*ii*) la cuestión del descubrimiento de definiciones lógicamente satisfactorias de conceptos cualitativos de disposición, como "soluble", que se cree indispensable para plantear el problema de los conceptos teoréticos; y (*iii*) "el" problema de la inducción, del que se cree que agota los problemas de la inferencia científica. El hecho es que el problema de los condicionales contrafácticos está por ahora formulado oscuramente, y, por tanto, sin resolver, mientras que, en cambio, la teoría de la ley científica marcha bien, como por fuerza tenía que ocurrir, porque lo interesante de los condicionales contrafácticos es que se presentan en la inferencia, no en la formulación de premisas de teorías factuales. Por lo que hace a los conceptos de disposición, los científicos suelen preferir derivar conceptos disposicionales cualitativos o comparativos a partir de conceptos cuantitativos, y lo hacen en el seno de teorías, no fuera de ellas (véase la sección 3.3). Por último, el papel de la inducción en la inferencia científica es mucho más modesto de lo que suele creerse (véase la sección 15.4). Se ha producido la inflación de ciertos problemas por falta de real conocimiento de la ciencia tal como existe, y así se ha desarrollado una artificial teoría de la ciencia que no versa realmente sobre la ciencia, sino sobre determinadas ideas que se les han ocurrido a distinguidos filósofos a propósito de problemas de escaso o ningún interés para el progreso del conocimiento: a menudo se estudian esos problemas con un enorme aparato de rigor e ingenio, simplemente porque se supone erradamente que son vitales para la ciencia o para la explicación filosófica de la ciencia.

La teoría de la ciencia no tiene por qué tratar exclusivamente problemas que puedan atraer la atención de los científicos –los cuales suelen pasar por alto las tesis filosóficas que suponen–, pero sin duda tiene que ocuparse de la ciencia real, y no de una imagen simplista de ella. Y si es deseable un fecundo intercambio entre filósofos y científicos, tanto para el enriquecimiento de la filosofía cuanto para la depuración de la ciencia, entonces es necesario tratar los problemas filosóficos que se presentan en el curso de la investigación. Actualmente los físicos se enfrentan con la necesidad de construir teorías de las partículas elementales, y se les ayudaría con una discusión competente acerca del

problema general de los planteamientos posibles de la construcción de teorías físicas. Los cosmólogos se encuentran con una evidencia poco segura en favor de teorías sumamente especulativas; seguramente acogerían muy bien una discusión competente acerca de la contrastabilidad y la precisión que hay que exigir a las teorías. Los químicos están incómodos con sus muchas hipótesis *ad hoc* acerca de funciones de onda, y con su excesivo cálculo ciego: se beneficiarían de una discusión acerca de la naturaleza de las construcciones *ad hoc* y de un examen del estatus de los modelos. Los biólogos se enfrentan con el creciente abismo entre la investigación por observación y la experimental, así como el existente entre la biología celular y la molecular: se les ayudaría mediante una discusión acerca del valor y la interrelación de esos varios planteamientos. Los psicólogos están aprendiendo química, y necesitarían una discusión acerca de si los hechos psíquicos no son más que reacciones químicas. Y así sucesivamente. La elección de problemas vivos animará la filosofía de la ciencia y la hará útil para el progreso de la ciencia.

En conclusión: el correcto planteamiento de los problemas filosóficos –su elección y su tratamiento– no difiere, o no debería diferir, demasiado del planteamiento correcto de los problemas científicos, por mucho que difieran los temas y las técnicas. Pero esto no es más que un modo ambiguo de decir que no hay más que un modo de plantear los problemas de conocimiento, ya sea en la ciencia pura, ya en la aplicada, ya en la filosofía: no se pueden plantear problemas de conocimiento sino científicamente. Esto puede ser dogmático pero vale la pena intentarlo para ver si cambia la situación de la filosofía.

Problemas

4.7.1. Establecer una lista de problemas filosóficos sugeridos por la investigación científica. Indicación: explicitar los supuestos básicos de cualquier disciplina científica y examinar si presuponen o sugieren en ideas filosóficas.

4.7.2. Mostrar por qué –o por qué no– los siguientes son –o no son– problemas filosóficos, de acuerdo, naturalmente, con la concepción de la filosofía que tenga cada cual. (*i*) ¿Cómo se relaciona la imagen percibida con los objetos externos? (*ii*) ¿Podemos percibir relaciones sociales? (*iii*) ¿Está el espíritu en el cerebro? Caso de respuesta afirmativa: ¿está en él como sustancia separada o como sistema de funciones? (*iv*) ¿Qué es el dolor? (*v*) ¿Qué es el mal? (*vi*) ¿Qué son obligaciones? (*vii*) ¿Qué son excusas? (*viii*) ¿Qué es trabajo (o acción)? (*ix*) ¿Qué anda mal en la sociedad? (*x*) ¿Cuáles son los atributos de la divinidad?

4.7.3. ¿Se desarrolla la filosofía por abstenerse de plantear ciertas preguntas, o más bien por formular correctamente problemas profundos? En particular: ¿existen preguntas "peligrosas"? Para esta última cuestión, cf. O. Neurath, *Foundations of the Social Sciences, Encyclopedia of Unified Science*, vol. II, núm. 1, Chicago, University of Chicago Press, 1944, p. 5: debemos evitar preguntas "peligrosas", "tales como la referente a la forma de conexión entre la 'observación' y el enunciado; o la de cómo se relacionan los 'datos de los sentidos' y el 'espíritu', el 'mundo externo' y el 'mundo interno'. En nuestro lenguaje fisicalista no se presentan esas expresiones." *Problema en lugar de ése*: Discutir la siguiente opinión de F. P. Ramsey en *The Foundations of Mathematics*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1931, p. 268: "Nos vemos movidos a filosofar porque no sabemos claramente qué estamos pensando; la cuestión es siempre: '¿Qué entiendo por x?'"

4.7.4. Comentar la siguiente afirmación de L. Wittgenstein –uno de los fundadores de la escuela de filosofía del lenguaje– en sus *Philosophical Investigations*, Nueva York, Macmillan, 1953:

(*i*) "...los problemas filosóficos surgen cuando el lenguaje *se va de vacaciones*" (p. 19). (*ii*) "...Un problema filosófico tiene la forma: 'No sé cómo proceder' (p. 49). (*iii*) "...La claridad a la que aspiramos es efectivamente claridad *completa*. Pero esto significa simplemente que los problemas filosóficos deben desaparecer *totalmente*" (p. 51). (*iv*) "El tratamiento que el filósofo da a una cuestión es como el tratamiento de una enfermedad" (p. 91). *Problema en lugar de ése*: Examinar la propuesta según la cual la tarea de la filosofía es hallar o convenir lo que puede o no puede decirse con propiedad ("felizmente", como dicen J. L. Austin y sus seguidores).

4.7.5. Según R. G. Collingwood, el tema propio de la filosofía es el estudio de los presupuestos últimos o absolutos. Comentar esta tesis. (Dicho sea de paso, Collingwood no estudió nunca la lógica de los supuestos, ni mostró que los hubiera de naturaleza absoluta.)

4.7.6. Bastantes historias de la filosofía son catálogos de opiniones y datos; algunas llegan a proponer y razonar hipótesis acerca de la influencia de unos filósofos en otros. ¿Cómo habría que intentar escribir una historia de la filosofía? ¿Empezando por los resultados (las doctrinas), o poniendo en el centro los problemas y los medios usados para resolverlos? Indicaciones: empezar por establecer una distinción entre el planteamiento histórico y el planteamiento sistemático (o teorético) de los problemas filosóficos, y elegir un caso ejemplar.

4.7.7. Suele suponerse que las cuestiones metafísicas son independientes de las de hecho y, por tanto, irresolubles con la ayuda de la experiencia. ¿Puede admitirse eso para cuestiones como las siguientes?: "¿Hay conexiones objetivas?", "¿Es la simetría anterior en algún sentido a la asimetría, o a la inversa?", "¿Requiere el cambio algo que no cambie?", "¿Es el progreso objetivo?", "¿Tienden a sumarse las propiedades?", "¿Es el azar una excepción a la regla o el resultado de leyes que operan a diferente nivel?", "¿Hay en la realidad individuos?", "¿son reales los géneros?" *Problema en lugar de ése*: Examinar la opinión de C. S. Peirce sobre la relación entre metafísica y ciencia. Véanse sus *Collected Papers*, ed. C. Hartshorne y P. Weiss, Cambridge, Harvard University Press, 1935, vol. VI: la metafísica es una ciencia de observación, y "la única razón de que esto no se haya reconocido universalmente es que la metafísica se basa en clases de fenómenos que saturan de tal modo la experiencia de todo hombre que nadie les dedica particular atención" (p.2). Cf. también M. Bunge, *The Furniture of the World*, Dordrecht, Reidel, 1977.

4.7.8. ¿Tiene la filosofía un objeto preciso? *Problema en lugar de ése*: Examinar la lista de problemas filosóficos propuestos por K. R. Popper, *Conjectures and Refutations*, Nueva York y Londres, Basic Books, 1962, p. 59ss.

4.7.9. ¿Tiene la filosofía un método propio? Recordar y examinar las principales respuestas dadas a esa pregunta: el método de la filosofía consiste en (*i*) trazar la génesis psicológica y el desarrollo de las ideas (empiristas británicos, ideas en el sentido empirista); (*ii*) descubrir la determinación social de las ideas (sociologismo); (*iii*) la descripción y el análisis lingüísticos (filosofía de Oxford); (*iv*) el análisis lógico del discurso científico (M. Schlick y R. Carnap); (*v*) la folmulación clara de problemas y el examen crítico de las varias soluciones propuestas (K. R. Popper); (*vi*) el método general de la ciencia y las técnicas de la lógica formal y la semántica.

4.7.10. Considérese la siguiente antinomia de la base científica de la filosofía. Supóngase que la filosofía científica utiliza no sólo el método de la ciencia, sino también alguno de sus resultados –por ejemplo, que el espacio y el tiempo son interdependientes. Supóngase además que fuera un desiderátum del filosofar la construcción de teorías duraderas. Es un hecho que entre los resultados de la ciencia los particulares tienen más larga vida que los generales. Pero si escogemos resultados particulares –como, por ejemplo, el peso molecular del agua, o la duración de la era terciaria– no podremos construir teorías filosóficas. Y si escogemos los resultados generales (como la teoría de la gravitación) no conseguiremos estabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

Ackoff, R. L., *Scientific Method: Optimizing Applied Research Decisions*, Nueva York, John Wiley, 1962, caps. 2 y 3.
Agassi, J., "The Nature of Scientific Problems and their Roots im Metaphysics", en M. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, Nueva York, The Free Press, 1964.
Åqvist, L., *A New Approach to the Logical Theory of Interrogatives*, 2a. ed., Uppsala University of Uppsala, 1969.
Aristóteles, *De interpretatione*, 20b, pp. 27-31.
Belnap, N., Jr., "S-P interrogatives", en M. Bunge (comp.), *Exact Philosophy*, Dordrecht, Reidel, 1972.
Bromberger, S., "Questions", *Journal of Philosophy*, LXIII, 597, 1966.
——, "Questions", *Journal of Philosophy*, 63: 597-606, 1966.
Bunge, M., "¿Qué es un problema científico?", *Holmbergia*, VI, núms. 15, 47, 1959.
——, "Problems and games in the current philosophy of natural science", *Proceedings of the XIVth International Congress of Philosophy*, vol. II, 1968.
Cresswell, M. J., "The logic of interrogatives", en J. N. Crossley y M. A. E. Dummett (eds.), *Formal Systems and Recursive Functions*, Amsterdam, North Holland, 1965.
Freudenthal, H., "Analyse mathématique de certaines estructures linguistiques", *Folia biotheoretica*, 5, 81, 1960.
Hilbert, D., "Mathematische Probleme", *Archiv der Mathematik und Physik*, I, 44 y 213, 1901, reimpreso en R. Bellman (ed.), *A Collection of Modern Mathematical Classics*, Nueva York, Dover, 1961.
Hiz, H. (comp.), *Questions*, Dordrecht, Reidel, 1978.
Kolmogoroff, A., "Zur Deutung der intuitionistischen Logik", *Mathematische Zeitschrift*, 35, 58, 1932.
Kubinski, T., "An Essay in Logic of Questions", *Proceedings of the XIIth International Congress of Philosophy*, Firenze, Sansoni, 1960, V.
——, "The logic of questions", en R. Klibansky (ed.), *Contemporary Philosophy*, vol. I, Florencia, La Nuova Italia, 1968.
Lindley, T. F., "Indeterminate and Conditional Truth-Values", *Journal of Philosophy*, LIX, 449, 1962.
Mehlberg, H., *The Reach of Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1958, cap. 3.
Merton, R. K., "Notes on problem-finding in sociology", en R. K. Merton, L. Broom y L. S. Cottrell, Jr. (comps.), *Sociology Today*, Nueva York, Basic Books, 1959.
Morris, R. T., y M. Seeman, "The Problem of Leadership: An Interdisciplinary Approach", *American Journal of Sociology*, LVI, 149, 1950.
Parthey, H. (ed.), *Problemtypen bei der Hypothesen- und Prognosenbildung*, Rostocker Philosophische Manuskripte, Heft 7. Universität Rostock, 1970.
Pólya, G., *How to Solve It?*, Nueva York, Doubleday Anchor Books, 1957.
Popper, K. R., "The Nature of Philosophical Problems and their Roots in Science", en *Conjectures and Refutations*, Nueva York y Londres, Basic Books, 1962.
Stahl, G., "La lógica de las preguntas', *Anales de la Universidad de Chile*, núm. 102, 71, 1956.
——, "Preguntas y premisas", *Revista de Filosofía de la Universidad de Chile*, VIII, 3, 1961.

5. HIPÓTESIS

Una vez planteado y examinado un problema o un sistema de problemas, se busca su solución a menos que se muestre que carece de tal. El procedimiento para el hallazgo de la solución dependerá de la naturaleza del problema. Algunos problemas de la ciencia factual se resuelven dirigiendo preguntas al mundo, esto es, organizando experiencias científicas (observaciones, mediciones, experimentos); otros se resuelven mediante la elaboración de teorías contrastables acerca del mundo. Dicho de otro modo, un problema factual dará lugar a una experiencia, una conjetura o ambas cosas. Pero las experiencias científicas no tienen lugar en el vacío: se proyectan con ideas determinadas y se interpretan con la ayuda de teorías: por ejemplo, de teorías referentes al comportamiento probable de los medios de observación. Incluso las experiencias destinadas a la mera recolección de datos suponen teorías, tanto más cuanto más profundos y precisos son los datos que se buscan: piénsese en la cantidad de actividad teórica que hace falta para llegar a un experimento de genética o de física. En resolución: no hay problema científico que se resuelva precipitándose sin más hacia el laboratorio. Por tanto, vale la pena, antes de estudiar la experiencia científica, examinar las ideas científicas contrastadas por la experiencia: se trata de las conjeturas llamadas hipótesis, de las hipótesis ascendidas a leyes y de los sistemas de leyes llamados teorías. Empecemos con las hipótesis.

5.1. SIGNIFICADOS DE 'HIPÓTESIS'

Que la Tierra es redonda es un hecho, pero no un hecho observable: nadie ha visto la totalidad del planeta, y ni siquiera los astronautas pueden ver más que una parte del mismo en cada momento. La proposición "La Tierra es redonda" empezó por ser una hipótesis destinada a explicar ciertos hechos observados, como el modo de desaparecer el casco de una nave lejana; luego la hipótesis fue corroborada por descubrimientos independientes, tales como la circunnavegación de la Tierra y la medición de sus dimensiones. "La Tierra es redonda" es, dicho brevemente, una suposición o conjetura acerca de determinados hechos, o sea, una hipótesis factual, o una hipótesis en sentido epistemológico. Esta nomenclatura se basa en la siguiente convención, ineliminable ya del uso metacientífico contemporáneo: *Definición*: una fórmula es una *hipótesis factual* si y sólo si (*i*) se refiere, inmediata o mediatamente, a hechos no sujetos hasta ahora a experiencia o, en general, no sometibles a la misma, y (*ii*) es corregible a la vista de nuevo conocimiento.

No debe identificarse la noción de hipótesis con la de ficción, ni contraponerla a la de hecho, salvo en la medida en que las hipótesis y las ficciones son creaciones mentales, mientras que los hechos no mentales son externos o puede conseguirse que ocurran en el mundo externo. Las hipótesis factuales, puesto que son proposiciones, pueden contrapo-

nerse a proposiciones de otra clase, a saber, a proposiciones empíricas particulares también llamables *datos,* esto es, elementos de información. Un dato no es una hipótesis: cualquier hipótesis va más allá de la evidencia (datos) que intenta explicar. Esto es: las hipótesis tienen un contenido más considerable que el de las proposiciones empíricas cubiertas por ellas. La información de que la aguja de un determinado aparato de medición está coincidiendo con la señal 110 volt es un dato empírico singular: esa afirmación puede contrastarse por mera inspección visual. (En general, hacen falta experiencias, sueltas o en haces, para corroborar datos empíricos singulares. Pero no son suficientes: siempre se necesita además algún elemento teorético.) Pero no es ya un dato, sino una hipótesis, la afirmación de que ese dato indica la presencia de una corriente eléctrica en el aparato. Pues (*i*) las corrientes eléctricas son conjeturables, pero no observables, y (*ii*) la hipótesis puede resultar falsa, por ejemplo, si el aparato está estropeado, de tal modo que su indicación sea falsa.

Obsérvese que los datos singulares son en principio tan corregibles como las hipótesis: no difieren de las hipótesis por lo que hace a la condición (*ii*), corregibilidad o rectificabilidad, sino respecto de la condición (*i*): efectivamente, los datos se refieren a experiencias *efectuadas,* ya sea objetivables, intersubjetivas (por ejemplo, observaciones), ya sean de otro tipo (*Erlebnisse* [vivencias]). Obsérvese también que las hipótesis no expresan experiencias simples, pero ese hecho no les impide resumir en algunos casos experiencias; esto ocurre señaladamente cuando son simples generalizaciones de experiencias singulares, o sea, generalizaciones empíricas. Si "$P(a)$", "$P(b)$", ..., "$P(n)$" son proposiciones singulares que expresan cada una una experiencia de un cierto tipo, su conjunción –o sea, la proposición universal ligada "$(x)P(x)$"– es una total condensación de experiencias singulares (datos). Pero ella misma no es un dato, sino una construcción lógica a partir de datos. (Las hipótesis científicas más interesantes contienen predicados no-observacionales, y no pueden reducirse a conjunciones de datos.) Otra característica que vale la pena mencionar es que, por no referir directamente a experiencias singulares, las hipótesis no pueden quedar establecidas por una sola experiencia: los datos sueltos no pueden establecer, sino sólo refutar hipótesis. En cuarto lugar, la condición de rectificabilidad de nuestra definición es necesaria para distinguir entre las hipótesis y proposiciones de otras clases. Así, por ejemplo, "Dios es omnipotente" no refiere a ningún hecho experimentado o experienciable: cumple la condición (*i*), pero viola la condición (*ii*), puesto que no se considera rectificable en el contexto en el cual tiene sentido. (En el contexto del ateísmo no es ni siquiera una proposición, puesto que ni ella ni su negación son verdaderas.)

El centro de la actividad cognoscitiva de los seres humanos son las hipótesis, y no los datos. Los datos se acumulan para utilizarlos como evidencia en favor o en contra de hipótesis; y hasta la mera recolección de datos presupone un núcleo de hipótesis (por ejemplo, que hay algo observable, que los medios de observación son adecuados o pueden corregirse, etc.). Considérese el procedimiento de un médico práctico cuando se enfrenta con un caso. No empieza por observar a su paciente de un modo cualquiera y sin prejuicios, sin más finalidad que la de obtener datos en bruto y de cualquier clase interpretable. La misma recolección de datos va, por el contrario, guiada y justificada por ciertas hipótesis que subyacen a su procedimiento empírico. Así, por ejemplo, la auscul-

tación, la exploración por el tacto, el uso de instrumentos, cada una de esas maneras de proceder a la búsqueda de datos presupone un cuerpo de hipótesis anatómicas, fisiológicas y hasta físicas. Los datos que obtiene con la ayuda de tales procedimientos y sobre la base de tales hipótesis le son luego útiles para formular hipótesis diagnósticas que acaso desee someter finalmente a contraste mediante procedimientos más finos, como son los análisis bioquímicos, por ejemplo. En resolución, cuando se encuentra ante un problema de diagnóstico, el médico no parte de un borrón y cuenta nueva respecto de su anterior trabajo, sino, por el contrario, de un cuerpo de presupuestos, algunos de los cuales funcionan como hipótesis rectoras, y otros como líneas de interpretación de sus datos. Contando con este trasfondo podrá conseguir datos; y los interpretará y usará para producir y contrastar ulteriores hipótesis (diagnósticas).

Frecuentemente se ignora el papel central de la hipótesis en la ciencia, a causa de que, en el lenguaje común, 'hipótesis' sigue usándose en un sentido peyorativo, a saber, como suposición sin fundamento ni contrastación, como conjetura dudosa y probablemente falsa que no tiene lugar alguno en la ciencia. Pero el hecho es que muchas afirmaciones que pasan por informes más o menos directos de hechos de experiencia son en realidad construcciones elaboradas, y, por tanto, hipótesis, aun en el caso de que sean verdaderas. Un historiador puede acaso sentirse ofendido si se le dice que sus versiones históricas son reconstrucciones hipotéticas, y no nudas secuencias de hechos: pero aquello es lo que son, aunque verdaderas, puesto que lo que narra un historiador es su interpretación de ciertos documentos que se suponen referentes a hechos que él no ha contemplado y que, aunque los hubiera visto, necesitarían interpretación a la luz de un cuerpo de ideas sobre el comportamiento humano y las instituciones sociales. Análogamente, cuando un físico anuncia que aumenta o disminuye la cantidad de productos radiactivos que caen sobre la superficie, está interpretando ciertas lecturas de ciertos aparatos con la ayuda de leyes científicas, y, por consiguiente, está adoptando una hipótesis sobre algo que no es menos real por el hecho de ser intangible.

En la vida ordinaria estamos construyendo hipótesis durante todo el día: incluso cuando obramos automáticamente lo hacemos en base a ciertas hipótesis tácitamente aceptadas, o sea, en base a presuposiciones. Así, por ejemplo, cuando tomamos el metro para ir a la Universidad suponemos que ese medio de transporte está en buenas condiciones (lo cual puede resultar falso); suponemos también que está abierta la Universidad (y una huelga podría falsar este supuesto); que los estudiantes están interesados por nuestras lecciones (lo cual puede ser pura ilusión), etc. Toda actividad implica supuestos que van más allá de nuestra información en la medida en que se trata de una actividad racional, esto es, de una actividad llevada a cabo con la ayuda de conocimiento o construida por reflejos condicionados que llevan a determinados fines consciente y previamente fijados. En ningún momento percibimos más que una reducida porción del campo en el que se desarrollan nuestras actividades: la mayor parte de ese campo, aunque existente en sí, tiene que reconstruirse hipotéticamente, aunque sea en esbozo, en la medida en la cual tenemos que entenderla o dominarla. En resolución: puesto que el mundo no está nunca *dado* para nosotros enteramente, tenemos que formular hipótesis en alguna medida.

Las hipótesis, imprescindibles ya en la acción racional, son aún más centrales en la concepción racional del mundo (la ciencia) y en su modificación racional (la tecnología).

La sensibilidad es el requisito animal y precientífico del pensamiento sobre el mundo; y concebir el mundo no es más que formular hipótesis acerca de él. El hecho de que la mayoría de las hipótesis científicas se formulen de un modo categórico no debe confundirnos. Cuando el biólogo dice que la vida surgió hace dos billones de años, que los primeros organismos terrestres fueron los líquenes, que las plantas sintetizan hidratos de carbono partiendo del dióxido de carbono y el agua, que el oxígeno es indispensable para la vida animal o que todos los mamíferos son homeotérmicos, no está comunicando información acerca de la experiencia, sino formulando hipótesis con cuya ayuda pueden interpretarse ciertos acúmulos de experiencia: sus supuestos, por ser hipótesis, *no son acerca de experiencia,* sino acerca de hechos no experienciables; y las usará para explicar su experiencia biológica.

A veces el carácter hipotético de una proposición se pone de manifiesto por su forma lógica. Toda proposición *hipotética,* o sea, toda proposición de la forma "Si *p*, entonces *q*", es una hipótesis, porque es una construcción lógica construida a partir de dos proposiciones que pueden, aunque no necesariamente, referirse a un hecho cada una. Así, por ejemplo, "Si el perro está irritado, entonces el perro gruñe", es una proposición hipotética que enlaza dos proposiciones categóricas, a saber, "El perro está irritado" y "El perro gruñe". La primera proposición categórica puede inferirse de datos relativos al comportamiento del perro (por analogía con el comportamiento humano), y es, por tanto, ya ella misma una hipótesis; el consecuente puede ser, en cambio, un dato. Pero no hay estado del mundo, acontecimiento o proceso, ni experienciable ni concebible, que corresponda al condicional *completo* (a la proposición hipotética completa). Así pues, el tener la forma de un condicional, el ser una proposición hipotética, es suficiente para ser una hipótesis. Pero es claro que no es necesario, como muestra el caso de la irritación del perro y como lo confirman las siguientes hipótesis existenciales: "Hay varios sistemas planetarios", "Posiblemente hay vida en Marte" y "Hay carbono radiactivo en todo ser vivo". No es paradójico el que una sentencia categórica exprese una hipótesis; el aspecto de paradoja se desvanece en cuanto se sustituye el viejo nombre tradicional de 'hipotéticas', que se daba a estas proposiciones de la forma "si-entonces", por el moderno nombre de 'condicional'. En general, la forma lógica sin más no es un indicador suficientemente seguro del estatus epistemológico y metodológico.

Hasta el momento hemos aludido al sentido epistemológico y metodológico de 'hipótesis'. El sentido lógico de la palabra es *supuesto,* premisa o punto de partida de una argumentación (por ejemplo, de una demostración). Ésta es una de las significaciones originarias de 'hipótesis', y precisamente la conservada en la ciencia formal. En este contexto, una premisa es una fórmula previamente aceptada (un axioma, un teorema o una convención, como "T es un triángulo euclidiano"), o bien una fórmula introducida a título de ensayo porque posibilita alguna deducción (mediante un argumento *ex hypothesi*) y conservada o rechazada luego en atención a sus consecuencias. En cualquier caso, una hipótesis en este sentido es una premisa usada en el razonamiento, y consiste por tanto en un supuesto.

En este sentido lógico de la palabra son hipótesis todos los supuestos iniciales (axiomas) de una teoría, formal o factual; se distinguen de las demás hipótesis de una teoría llamándolas hipótesis *fundamentales* o *básicas* (también suele llamárselas supuestos). El

procedimiento que consiste en desarrollar una teoría empezando por formular sus puntos de partida o hipótesis básicas y deduciendo luego sus consecuencias con la ayuda de las subyacentes teorías formales se llama *método hipotético-deductivo.* Los axiomas de una teoría formal son, consiguientemente, hipótesis en sentido lógico, mientras que los axiomas de una teoría factual son hipótesis en los dos sentidos: el lógico y el epistemológico y metodológico: van más allá de la experiencia y son además rectificables. Y todas las teorías, formales o factuales, son *sistemas hipotético-deductivos.*.

No suele presentarse íntegramente el trasfondo de un problema, de una hipótesis o de una teoría. Los supuestos tácitos e indiscutidos de una idea son sus presupuestos (véase sec. 4.2). La siguiente *Definición* facilita un modo laxo, pero cómodo, de caracterizar este concepto importante y comúnmente olvidado: *B presupone A* si y sólo si (*i*) *A* es una condición necesaria de la significación o la verosimilitud de *B*, y (*ii*) *A* está fuera de discusión cuando se usa *B* o se somete a contrastación. Una simbolización posible de "*B* presupone *A*" sería '$A \dashv B$', notación que no debe confundirse con '$A \vdash B$' cuyo significado es: "*A* acarrea *B*".

Los presupuestos que se presentan en cualquier investigación científica son hipótesis en el sentido lógico de la palabra, o sea, supuestos básicos. Se estiman, consiguientemente, como cualesquiera otras hipótesis, o sea, juzgando sus consecuencias. *Y puede reconocerse la naturaleza de presupuesto de una proposición igual que se muestra la independencia de un axioma. Sea *B* un cuerpo de premisas que acarrea la consecuencia *C*. Para averiguar si $A \dashv B$, o sea, si *B* presupone *A,* negamos *A,* establecemos la conjunción de la negación de *A* con *B* y comprobamos si $-A$ & *B* acarrea *C*. Si ese nuevo conjunto de premisas sigue implicando *C*, entonces la fórmula de que sospechábamos, *A*, no es un presupuesto de *B*; si $-A$ introduce un cambio en las consecuencias *C*, es claro que *A* estaba sosteniendo el efecto de *B*.*

Los presupuestos pueden dividirse en genéricos y específicos. Los *presupuestos genéricos* son aquellas fórmulas que no son peculiares al especial campo de investigación. Por ejemplo, las leyes de la lógica ordinaria y las de la física son presupuestos genéricos de la investigación biológica; y ciertas hipótesis filosóficas que estudiaremos en la sec. 5.9, como el principio de legalidad, son presupuestos genéricos de la ciencia factual. Los *presupuestos específicos* son aquellas fórmulas del mismo campo que constituyen el trasfondo inmediato y peculiar de las fórmulas consideradas, Por ejemplo, la existencia de la luz es un presupuesto específico de la óptica, pero no lo es de la mecánica. (Mas, por otro lado, la contrastación de las hipótesis de la mecánica presupone la existencia de la luz, que toma como dada.)

Examinemos ahora los modos de formulación de las hipótesis científicas.

Problemas

5.1.1. Comentar el papel de las "ideas preconcebidas" (hipótesis) según Claude Bernard, en su *Introducción al estudio de la medicina experimental,* parte I, cap. 2, sec. 1. *Problema en lugar de ése*: Estudiar la naturaleza y la función de las indicaciones que sugieren al arqueólogo dónde debe excavar.

5.1.2. Precisar si las siguientes fórmulas son hipótesis y, caso afirmativo, en qué sentido y por qué:
1. Ella me quiere.
2. El cobre es un buen conductor.
3. En todos los organismos tienen lugar mutaciones.
4. Algunos de mis colegas conseguirán distinciones.
5. Todo proceso psíquico es un proceso fisiológico.
6. El hombre surgió hace aproximadamente tres millones de años.
7. Las preferencias políticas están considerablemente determinadas por el estatus social.
8. El choque entre intereses económicos produce reajustes sociales.
9. Hay leyes sociales.
10. No hay investigación científica sin hipótesis.

5.1.3. ¿Supusieron hipótesis las expediciones geográficas de Colón, Magallanes y Livingstone? Caso afirmativo, ¿cuáles fueron?

5.1.4. ¿Implica la invención formulación de hipótesis? Considerar tanto la invención científica (por ejemplo, la de una nueva teoría o un nuevo instrumento) y la invención tecnológica (por ejemplo, de una nueva técnica de elaboración o de una nueva máquina).

5.1.5. Formular una hipótesis del nivel más bajo (es decir, del tipo de resumen o condensación de datos) y otra que rebase todo conjunto imaginable de datos.

5.1.6. Examinar el estudio experimental de la hipótesis en animales no humanos. Véase I. Krechevsky, *'Hypothesis' versus 'chance' in the pre-solution period in sensory discrimination learning*, University of California Publications in Psychology, vol. 6, núm. 3, 1932.

5.1.7. Tomar como base una investigación científica o tecnológica y explicitar (*i*) sus presupuestos genéricos y específicos, y (*ii*) las principales hipótesis formuladas en el curso de dicha investigación. Indicación: no intentar agotar el tema, porque es inagotable.

5.1.8. Examinar la cadena siguiente:
Lógica ⊣ Mátemática ⊣ Física ⊣ Química ⊣ Biología ⊣ Psicología ⊣ Sociología ⊣ Historia.
Problema en lugar de ése: ¿Ha discurrido en paralelo con esa cadena el desarrollo histórico de las ciencias?

5.1.9. ¿Cuáles son las propiedades formales (lógicas) de la relación de presuposición? V. N. Rescher, "On the Logic of Presuppositions", *Philosophy and Phenomenological Research*, 21, 521, 1961.

5.1.10. H. Dingler deseaba fundamentar la ciencia en un conjunto de afirmaciones "sin acompañamiento", esto es, en un conjunto de enunciados de experiencia y de acción que no presupusieran otras proposiciones y suministraran, consiguientemente, un fundamento básico e inmutable tanto para la ciencia factual cuanto para la formal. Y E. Husserl, el fundador de la fenomenología, se proponía construir un sistema filosófico completamente libre de presupuestos (sin presupuestos lógicos, ni epistemológicos, ni ontológicos, ni científicos). Tanto Dingler como Husserl se proponían partir de cero. ¿Es posible una empresa así? Si no lo es, ¿por qué? En caso de que ese programa no sea realizable, ¿estamos obligados a exponer los presupuestos como creencias incorregibles?

5.2. FORMULACIÓN

Las hipótesis factuales son conjeturas formuladas para dar razón de hechos, sean éstos ya conocidos por experiencia o no lo sean. Ahora bien: es posible concebir muchas hipótesis distintas para cubrir cualquier conjunto de datos referentes a un haz de hechos; los

datos, esto es, no determinan unívocamente las hipótesis que pueden dar razón de ellos. Para poder elegir la más verosímil de entre todas esas conjeturas de origen empírico hay que imponerse e imponerles ciertas restricciones. En la no-ciencia, cuyo desiderátum último puede perfectamente no ser la verdad, se utilizan criterios como el de conformidad con la autoridad establecida, el de simplicidad o el de practicidad. En la ciencia se imponen tres requisitos principales a la *formulación* (que no es sin más la aceptación) de las hipótesis: (*i*) la hipótesis tiene que ser *bien-formada* (formalmente correcta) y *significativa* (no vacía semánticamente); (*ii*) la hipótesis tiene que estar *fundada* en alguna medida en conocimiento previo; y si es completamente nueva desde ese punto de vista, tiene que ser compatible con el cuerpo del conocimiento científico; (*iii*) la hipótesis tiene que ser *empíricamente contrastable* mediante los procedimientos objetivos de la ciencia, o sea, mediante su comparación con los datos empíricos controlados a su vez por técnicas y teorías científicas.

Esos requisitos son necesarios y suficientes para considerar que una *hipótesis* es *científica,* independientemente de que la conjetura sea realmente verdadera o no lo sea; o sea: son condiciones que tiene que satisfacer la formulación de las hipótesis científicas. Por lo demás, esos tres requisitos no son independientes unos de otros. El ser bien formada es condición necesaria del tener una significación determinada en algún lenguaje. (Imagínese, por comparación, la tarea consistente en interpretar las palabras de Heidegger "La temporalidad se temporaliza.") A su vez el tener una significación determinada es necesario para poder recibir el apoyo del conocimiento preexistente (o sea, para se razonable) y para poder enfrentarse con una nueva experiencia. (Imagínese, por comparación, lo que puede ser la tarea de hallar apoyo en el conocimiento para –o someter a contrastación– la hipótesis de Freud según la cual "el sueño representa un regreso al seno materno".) Y el tener fundamento, al menos, en una parte del conocimiento ya disponible es la única garantía (aunque tenue) de que vale la pena proceder a una contrastación empírica, así como de que ésta es posible, puesto que la experiencia científica presupone algún conocimiento científico. Procedamos ahora a algunos ejercicios de formulación de hipótesis: ellos harán plausibles los tres requisitos antes dados y permitirán un ulterior examen de los mismos (en las secciones 5.5 a 5.7).

Si introducimos un bastón en una piscina o un estanque llenos de agua limpia podemos observar que el bastón parece quebrado por el lugar en el cual limitan el aire y el agua. Si no nos interesa el conocimiento, podemos contentarnos con admirar el fenómeno. Si somos pseudocientíficos, podemos aventurar alguna conjetura más o menos fantástica sin preocuparnos de si cumple o no los tres requisitos anteriores. Si somos meros recolectores y coleccionistas de datos observaremos el fenómeno cuidadosamente, trazaremos algún dibujo o croquis, llegaremos tal vez a tomar algunas fotografías y mediciones, y concluiremos incluyendo esos datos en una descripción cuidadosa, pero superficial del fenómeno. (Éste era el alcance de lo que los romanos entendieron por "scientia".) En cambio, si somos científicos, intentaremos explicar esa mera descripción arriesgando hipótesis que sean lógicamente consistentes, científicamente fundadas y empíricamente contrastables. Tales hipótesis nos ayudarán a su vez a contemplar ese mismo fenómeno bajo una luz nueva: posibilitarán una descripción más profunda, formulada con términos teoréticos, y no simplemente con los del lenguaje ordinario.

Ahora bien: en el caso de cualquier hecho observable (fenómeno) son posibles hipótesis científicas de dos clases. Tipo I (*hipótesis físicas*): el fenómeno es un hecho objetivo, o sea, independiente del observador. Tipo II (*hipótesis psicológicas*): el fenómeno es subjetivo, o sea, depende del observador. En nuestro caso, el primer conjunto de conjeturas contiene por lo menos dos subclases: unas hipótesis atribuirán la apariencia al bastón mismo, otras al complejo aire-agua. Tenemos, en particular, las siguientes posibilidades, que no son todas y que pueden habérseles ocurrido a decenas de miles de personas:

h_1 = La apariencia del bastón quebrado es una ilusión.

h_2 = La apariencia del bastón quebrado se debe a que éste se ha quebrado efectivamente.

h_3 = La apariencia del bastón quebrado se debe a la quebradura (refracción) de los haces de luz en la superficie de contacto del aire y el agua.

Las tres afirmaciones son hipótesis en sentido propio: no describen apariencias, sino que intentan explicarlas con términos que no son de observación; las tres son susceptibles de corrección o rectificación. Además, satisfacen las tres condiciones de las hipótesis científicas. En efecto: son todas lógicamente (formal y semánticamente) consistentes; están fundadas: sabemos que existen ilusiones, y sabemos o sospechamos que tanto los bastones cuanto los haces de luz pueden quebrarse; y las tres son contrastables: pueden frecuentemente eliminarse las ilusiones cambiando de sujeto observador; la quebradura de un bastón puede comprobarse tocándolo, y la quebradura de la luz puede someterse a contrastación sin usar bastones, independientemente del fenómeno estudiado. Por tanto, las tres conjeturas deben considerarse como hipótesis científicas. Para saber cuál de ellas es la verdadera, tenemos que someterlas a contrastación. Y no podemos hacerlo sino empezando por *inferir de ellas algunas consecuencias*, utilizando para ello también nuestro conocimiento básico, y *confrontando esas consecuencias lógicas con información empírica ya poseída o nueva*. Procedamos a esta contrastación.

Contrastación empírica de h_1. (*i*) *Inferencia de una consecuencia*: Por lo que sabemos acerca de las ilusiones, si el efecto es subjetivo desaparecerá al añadir otro observador o al cambiar las condiciones de observación como el color, por ejemplo. (*ii*) *Confrontación con la experiencia*: No intentaremos reforzar la hipótesis eligiendo las condiciones más favorables, sino que pretenderemos más bien destruir la hipótesis cambiando a la vez las dos variables, el sujeto y las condiciones de la observación. Resultado: diferentes sujetos y en circunstancias ampliamente variadas observan el mismo fenómeno del bastón quebrado. (*iii*) *Inferencia*: La conjetura h_1 es falsa. La lógica de esta inferencia es como sigue: la consecuencia contrastable t_1 había sido inferida de la hipótesis h_1 y de un cierto cuerpo, A, de conocimiento previo: $A \,\&\, h_1 \vdash t_1$. La experiencia ha mostrado que t_1 es falsa, o sea, que $-t_1$ es verdadera. Aplicando el esquema de inferencia *modus tollendo tollens* inferimos que la premisa $A \,\&\, t_1$ es falsa. Pero en la experiencia en cuestión no se ponía en tela de juicio el conocimiento previo A, el cual, por el contrario, estaba presupuesto, o sea, previamente afirmado (aunque, por lo general, de un modo tácito). Por tanto, la falsedad de la consecuencia lógica t_1 afecta sólo a la conjetura h_1: para que h_1 sea falsa, basta con que lo sea $A \,\&\, h_1$. En resolución: la lógica formal, con la ayuda de un dato empírico ($-t_1$), nos capacita para refutar h_1.

Contrastación empírica de h_2. (*i*) *Derivación de una consecuencia*: si el bastón está

efectivamente quebrado o roto del todo, podremos percibirlo con la mano. Esta consecuencia t_2, se sigue de h_2 más nuestro conocimiento previo referente a bastones rotos o quebrados. (*ii*) *Confrontación con la experiencia*: Tampoco ahora intentaremos proteger la hipótesis absteniéndonos de tocar el bastón, sino que lo tocaremos; no notaremos, naturalmente, diferencia respecto del estado anterior del bastón. Por tanto, podemos afirmar que t_2 es falsa. (*iii*) *Inferencia*: Aplicando también aquí el *modus tollendo tollens* inferimos que A & t_2 es falsa; y puesto que hemos usado nuestro conocimiento básico, A, para inferir la consecuencia contrastable y, además, no estamos investigando A, sino h_2, concluimos que h_2 es la única culpable de la falsedad.

Contrastación empírica de h_3. (*i*) *Inferencia de una consecuencia*: Si la apariencia del bastón quebrado es un hecho óptico, a saber, la refracción de la luz (h_3), entonces el bastón mismo es irrelevante. Consiguientemente, será mejor que sometamos a contrastación la hipótesis lógicamente previa, a saber, h'_3 = Si un rayo de luz incide en la superficie de contacto aire-agua, es refractado. Con esto arrebataremos al fenómeno uno de sus ingredientes y sometemos la hipótesis h_3 a una contrastación especialmente dura: pues

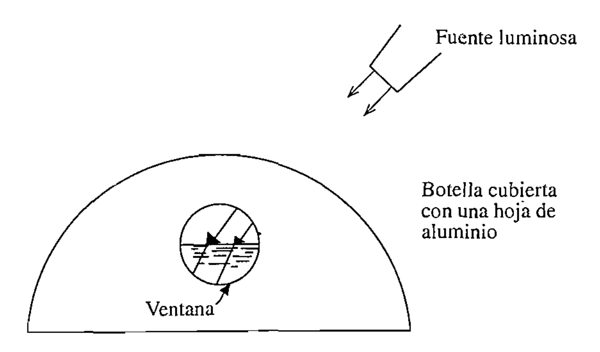


FIGURA 5.1. Contrastación empírica de la hipótesis de la refracción de la luz.

la presencia del bastón puede confundirnos las cosas. La hipótesis lógicamente previa, h'_3, es universal: cubre todos los ángulos posibles. Consiguientemente, implica la afirmación de que si un haz de luz cae en la superficie de contacto del agua y el aire con un ángulo dado, por ejemplo de 45°, se refracta. (*ii*) *Confrontación con la experiencia*: Para controlar mejor las variables utilizaremos el expediente esquematizado en la figura 5.1. Entonces hacemos verdadero el antecedente de h'_3 iluminando la superficie de contacto del agua y el aire con haces de luz que caigan con varios ángulos, y efectuamos la contrastación del consecuente de la hipótesis observando la quebradura de la luz en el agua. El resultado es que ese consecuente es verdadero excepto para la luz que cae sobre la superficie de contacto según ángulos rectos. (*iii*) *Inferencias*: *a*] hay que modificar h'_3 –para recoger la excepción dicha– dándole la formulación: "Si un haz de luz atraviesa la superficie de contacto aire-agua con un ángulo distinto del recto, se refracta"; llamemos a este enunciado h''_3; *b*] Puesto que el antecedente y el consecuente de ese condicional pueden considerarse suficientemente corroborados para una gran variedad de ángulos, se considera *confirmado* el enunciado compuesto h''_3 en su universalidad, aunque no se

habrá investigado más que un número finito de casos. Una investigación más profunda nos mostrará que h''_3 sólo es parcialmente verdadero: si iluminamos la superficie de contacto desde abajo veremos que para una cierta zona de ángulos por encima de un valor crítico se produce una refracción nula, esto es, reflexión total; y también averiguaremos que la refracción depende del color de la luz. Estas correcciones se tienen en cuenta en el enunciado habitual de la ley de refracción –la cual, dicho sea de paso, contiene predicados teoréticos, como 'rayo de luz' (en vez de 'haz de luz') e 'índice de refracción' (en vez del concepto cualitativo 'refracción'). Por último, este enunciado ya refinado de la ley recibe el apoyo de otros campos de la ciencia al deducirse de hipótesis mucho más fuertes (a saber, las de la teoría electromagnética de la luz). En cualquier caso, vale la pena observar que, mientras h_1 y h_2 han sido *refutadas*, h''_3 no ha sido *verificada*, sino sólo *confirmada* por la evidencia empírica y por su inserción en una teoría: la lógica formal nos capacita para *refutar* hipótesis, pero no para *establecerlas*, y no existe una *lógica* de la confirmación (cf. cap. 15).

Consideremos ahora un caso de otra especie: la contrastación de una hipótesis estadística. Es un "hecho" que los fumadores están más expuestos al cáncer de pulmón que los no fumadores. Dicho más exactamente: una amplia observación de la relación entre el fumar y el cáncer ha establecido la siguiente *hipótesis estadística* de bajo nivel científico: "La frecuencia del cáncer de pulmón entre personas que fuman unos treinta cigarrillos al día es unas 30 veces mayor que la frecuencia del cáncer de pulmón entre no fumadores". Nuestro problema no consiste ahora en explicar esa hipótesis. Con este fin tenemos que formular alguna hipótesis más fuerte que por sí misma o en conjunción con algún cuerpo de conocimiento implique esa generalización estadística. Hasta el momento se han propuesto dos hipótesis científicas:

h_1 = Fumar cigarrillos causa cáncer de pulmón.
h_2 = El fumar cigarrillos y el cáncer están ambos determinados por un tercer factor desconocido.

Las dos hipótesis dan razón de la generalización que hay que explicar y ambas son compatibles con el cuerpo de conocimiento existente: sabemos, en efecto, que el fumar es dañino desde otros puntos de vista, y que estimula la formación de tumores; por otra parte, sabemos también que frecuentemente se dan correlaciones espúreas, esto es, que una íntima asociación de dos variables A y B puede ser fruto de su relación con una fuente común o una tercera variable, C, que interviene en el sentido estadístico de este concepto; esta tercera variable, C, puede estar relacionada con A y B de uno de los modos siguientes:

$$A \rightarrow C \rightarrow B,\ B \rightarrow C \rightarrow A,\ \text{o}\ C \begin{smallmatrix} \nearrow A \\ \searrow B \end{smallmatrix}$$

En nuestro caso, puede haber un factor genético C que medie entre el cáncer de pulmón y el fumar cigarrillos.

Por lo que hace a contrastabilidad empírica, es claro que h_1 satisface esta condición, puesto que, según dicha hipótesis, una variación del número de cigarrillos fumados pro-

vocará una diferencia en la frecuencia del cáncer. En cambio, h_2, en la forma en que la hemos formulado, es demasiado vaga para ser contrastable: si hay que buscar algo, hay que tener al menos una indicación sobre ese algo: si no hay tal precisión, casi todo –o sea, nada en particular– puede dar apoyo o negarlo a h_2. Por tanto, mientras que h_1 es una hipótesis científica, h_2, estrictamente hablando, es una conjetura programática. Pero es posible elegir, entre la clase de conjeturas que cubre h_2, una hipótesis algo menos indeterminada, a saber:

h'_2 = El cáncer de pulmón y el fumar cigarrillos son ambos favorecidos por un factor genético.

Aunque h'_2 no especifica cuál es el factor determinante, es una hipótesis contrastable en la medida en la cual afirma la existencia de un factor de una naturaleza determinada. Por otra parte, nos remite a la genética, y la genética nos permitirá estudiar la posible asociación del cáncer de pulmón con cierto número de caracteres que se sabe hereditarios. Ahora ya tenemos dos hipótesis científicas, h_1 y h'_2, que hay que someter a contrastación.

Pero antes de precipitarnos a recoger más datos para decidir entre h_1 *y* h'_2, tenemos que estar en claro acerca de la *clase* de datos que necesitamos. Es claro que no necesitamos más datos acerca de la correlación cáncer-fumar, puesto que lo que queremos explicar es precisamente esa correlación. Por tanto, no volveremos a hacer más observaciones de grupos experimentales (fumadores) y grupos de control (no fumadores): lo que nos está pidiendo h_1 es que produzcamos experimentalmente cáncer de pulmón en animales haciéndoles fumar cigarrillos, mientras que h'_2 nos indica que examinemos gemelos idénticos y atendamos a las correlaciones entre el cáncer de pulmón y la edad, el sexo, el grupo étnico, las costumbres de alimentación, los rasgos personales, el fondo familiar, etc. Las hipótesis no pueden sólo explicar, sino también *orientar la investigación,* en particular la que se emprende para someterlas a contrastación. Consiguientemente, pueden recogerse cuerpos distintos de datos empíricos para investigar hipótesis diferentes, de tal modo que unos datos pueden ser relevantes para alguna de las hipótesis en competencia y no serlo para todas. Dicho brevemente: es posible que haya que estimar hipótesis rivales mediante cuerpos de datos que no son comparables entre sí. Pero volvamos al problema del cáncer.

Los resultados experimentales en el momento de escribir estas páginas son los siguientes. El fumar produce cáncer a los animales de laboratorio, de modo que h_1 ha sido confirmada. Además, existe una correlación determinada entre el fumar cigarrillos y otras características de la conducta, como el consumo de café y alcohol, el tener padres con hipertensión o perturbaciones circulatorias, etc., pero tampoco en estos casos resulta suficientemente significativa la correlación. En resolución, h_1 está mucho mejor confirmada que h'_2. ¿Qué paso debería darse ahora? ¿Un aumento del número de experimentos y observaciones o una intensificación de la actividad teorética? Más bien parece que esto último, porque tanto h_1 cuanto h'_2 son demasiado *débiles:* necesitamos hipótesis más fuertes, sugeridas por consideraciones teoréticas, referentes al *mecanismo* detallado probable de la acción del fumar sobre las células y de la tendencia a fumar. La primera cuestión exige una colaboración más intensa de los citólogos, y la segunda necesita la de fisiólogos y genetistas.

Esta situación no es nada excepcional en la ciencia. Demasiado frecuentemente la ciencia se encuentra puesta en jaque no por falta de evidencia empírica, sino por falta de hipótesis fuertes. Y hay una errada filosofía de la ciencia –lo que podría llamarse datismo, la filosofía de la ciencia que sólo da importancia al dato– que contribuye a ese estancamiento.

Vamos a intentar ahora un análisis metódico de las clases de hipótesis científicas: necesitamos ese análisis a causa de la difundida creencia según la cual todas las hipótesis son generalizaciones empíricas universales.

Problemas

5.2.1. Repasar una página de un artículo científico y subrayar las sentencias que expresan hipótesis.

5.2.2. Un juez se encuentra con un caso de muerte por causas desconocidas. ¿Qué hipótesis establecerá? ¿Puede atribuir un determinado peso (antes de tener pruebas empíricas) a sus hipótesis? Si tal es el caso, ¿qué relacion(es) deben satisfacer esas estimaciones de las hipótesis? ¿Y cómo podría el juez someter a contrastación las diversas conjeturas?

5.2.3. Es un "hecho" –o sea, una hipótesis bien confirmada– que en Estados Unidos de América la mayoría de los negros del norte son mentalmente superiores a los negros del sur. Se han elaborado en lo esencial dos hipótesis para dar razón de esa generalización estadística.

h_1 = la superioridad tiene un origen genético (por ejemplo, étnico): los negros que emigraron al norte eran ya los más capaces.

h_2 = la superioridad se debe a influencias ambientales: el norte es económica, social y culturalmente más favorable al desarrollo mental de los niños y los jóvenes negros.

Inferir consecuencias contrastables, sugerir contrastaciones empíricas y, si parece necesario, proponer otras hipótesis. Cf. O. Klineberg, *Negro Intelligence and Selective Migration*, Nueva York, Columbia University Press, 1935, o bien los extractos de ese libro en P. F Lazarsfeld y M. Rosenberg (eds.), *The Language of Social Research*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1955, pp. 175ss.

5.2.4. Es un "hecho"–o sea, una hipótesis bien confirmada– que la frecuencia del cáncer ha aumentado constantemente durante nuestro siglo. Discutir las siguientes hipótesis –y otras más, si es posible–, destinadas a dar razón de ese hecho.

h_1 = el aumento de la frecuencia del cáncer no es real: lo que pasa es que ha aumentado el numero de correctas diagnosis de cáncer a causa del afinamiento de las técnicas histológicas.

h_2 = el aumento de la frecuencia del cáncer se debe a la mejoría de las expectativas de vida, porque el cáncer es una degeneración senil.

h_3 = el aumento de la frecuencia del cáncer se debe al aumento de humos en la atmósfera respirada (se sabe que el hollín es cancerógeno), y este último aumento se debe a su vez a la industrialización.

¿Se trata en todos los casos de hipótesis contrastables? ¿Son recíprocamente incompatibles?

5.2.5. Inferir algunas consecuencias (metacientíficas, desde luego) de la controversia acerca de la correlación entre el cáncer y el fumar. *Problema en lugar de ése*: Tomar cualquier otro tema corrientemente discutido y examinar las hipótesis implicadas en la controversia.

5.2.6. Al medir cierta magnitud, un experimentador halla sucesivamente los siguientes valores: 1, 3, 5, 7, 9. Como es persona con tendencia a generalizar, imagina algunas hipótesis que condensan y generalizan esos datos:

h_1 $y = 2x + 1$, con $x = 0, 1, 2, \ldots$

h_2 $y = 2x + 1 + x(x-1)(x-2)(x-3)(x-4)$, con $x = 0, 1, 2, \ldots$

h_3 $y = (2x + 1)(-1)^{x-1} \cos (x - 1)\pi$, con $x = 0, 1, 2, \ldots$

h_4 $y = 2x + 1 + f(x)$, con $f(x) = 0$ para valores enteros de x, y arbitraria en otro caso.

¿Podrá decidir entre esas conjeturas sin tener más datos, o sin consideraciones teoréticas acerca de la naturaleza de la relación entre x e y?

5.2.7. Un turista ha recibido la información de que debe tomar el autobús número 100. Mientras espera, observa la llegada de cinco autobuses sucesivamente: los autobuses llevan los números 1, 2, 3, 4 y 5, en este orden. ¿Qué conjeturas puede concebir el turista y cómo podrá contrastarlas? ¿Son esas conjeturas hipótesis?

5.2.8. ¿Prescribe toda hipótesis el tipo de los datos que pueden servir para someterla a contrastación? Si tal es el caso, ¿cómo lo hace? Si no es el caso, ¿por qué?

5.2.9. Examinar la hipótesis metacientífica de Newton: "No finjo hipótesis". Cf. sus *Principia*, libro III, General Scholium. ¿Es verdad que Newton no arbitrara hipótesis? Si inventó hipótesis, ¿cómo es que no se dio cuenta de ello? ¿Tal vez fue por reacción contra el procedimiento especulativo de Descartes? ¿O estaba bajo la influencia de la filosofía empirista de Bacon? Y, si no formuló hipótesis, ¿cómo consiguió explicar tantos hechos y construir la mecánica teórica? Indicación: empezar por preguntarse si Newton usaba la palabra 'hipótesis' en el mismo sentido que tiene hoy.

5.2.10. Los datos empíricos en favor de las hipótesis evolucionistas por lo que hace al pasado remoto son incompletos: consisten en muestras al azar cuyos miembros se encuentran dispersos por el espacio y el tiempo. Toda línea evolutiva que correlacione documentos fósiles es una hipótesis y, puesto que esos elementos de evidencia son dispersos, hay lugar para interpretaciones (hipótesis) divergentes. G. G. Simpson, en *The Meaning of Evolution*, 1949, New Haven, Yale University Press. 1960, p. 138. ofrece el ejemplo siguiente. En la figura 5.2. (*i*) se representa un conjunto de datos; (*ii*) representa la hipótesis ortogenética (haz de líneas rectas cada una de las cuales representa una evolución en dirección determinada); (*iii*) representa la hipótesis de macromutación (serie de estadios que surgen a saltos unos de otros); (*iv*) representa la hipótesis de que esos restos son miembros de una sola línea evolutiva de dirección cambiante. Cada una de esas tres hipótesis recíprocamente incompatibles recoge bien los datos disponibles, pero (*iv*) es la más probable porque concuerda también con datos independiente (no paleontológicos) referentes a cambios genéticos, cambios por adaptación, etc. ¿Qué sugiere este ejemplo sobre *a*] la determinación de las hipótesis por la evidencia disponible y *b*] la libertad de invención en materia de hipótesis?

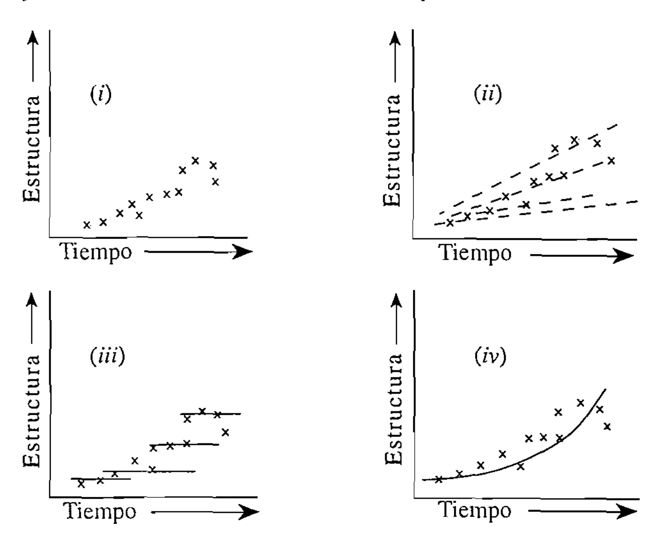


FIGURA 5.2. Tres hipótesis diferentes. –(*ii*), (*iii*), (*iv*)– para la interpretación de los datos paleontológicos (*i*).

5.3. *CLASES: FORMA Y CONTENIDO

Es posible clasificar las hipótesis científicas desde varios puntos de vista. Serán especialmente útiles para nuestro fin las clasificaciones desde los puntos de vista de la forma (clasificación sintáctica), la referencia (semántica) y el estatus cognitivo (epistemológica).

Formalmente (sintácticamente), las hipótesis pueden clasificarse de acuerdo con varias características, principalmente la estructura de los predicados, el alcance, la sistematicidad y la potencia deductiva o de inferencia. Por lo que hace a la estructura de los predicados el primer rasgo que hay que tener en cuenta es el *número de predicados*: una hipótesis puede contener un sólo predicado (por ejemplo: "Hay quarks") o, como es más frecuente, varios predicados (por ejemplo: "Todas las sociedades modernas están estratificadas"). En segundo lugar, importa tener en cuenta en el análisis lógico el *grado* de los predicados, o sea, el número de lugares de argumento de los predicados que se presentan en una hipótesis; así, por ejemplo, "valencia" es un predicado monádico, mientras que "desciende" es por lo menos diádico o binario. De todos modos el grado que se asigne a un predicado es función de la profundidad del análisis; así, por ejemplo, "x es observable" es simplemente una primera aproximación al análisis, más profundo, "x es observable por y en las condiciones z y con los medios w". Dicho brevemente: el grado de los predicados y, por consiguiente, la estructura lógica de las hipótesis, es contextual más que absoluto: depende del estado del cuerpo de conocimiento en el que se presenten y de la finura de análisis requerida o posible. (En general, la forma lógica es contextual, no absoluta.) En tercer lugar interesa el *carácter métrico* de los predicados: para que una hipótesis sea vaga es necesario que no contenga más que predicados cualitativos (no-métricos), como en el caso de "El calor pasa de los cuerpos más calientes a los cuerpos más fríos" Pero esta condición está lejos de ser suficiente: muchas hipótesis precisas no contienen más que predicados dicotómicos (predicados de presencia o ausencia), como, por ejemplo, "Las transiciones entre estados de diferentes propiedades simétricas son discontinuas."

Por lo que hace a su *alcance*, las hipótesis científicas son de todas las extensiones posibles, y no exclusivamente universales:

1. *Hipótesis singulares*, como "Ha sido un acto inteligente."

2. *Hipótesis pseudosingulares*, como "El sistema solar es dinámicamente estable"; estas hipótesis contienen un cuantificador oculto, generalmente referido al tiempo y/o el espacio. En nuestro ejemplo, la formulación ostensiva es: "$S(s)$", pero lo que pensamos es que el sistema solar es estable en todo momento t de un intervalo temporal T, o sea: $(t)_{t \in T} S(s, t)$. Numerosas hipótesis sociológicas e históricas merecerían el nombre de leyes si se explicitara su universalidad oculta.

3. *Hipótesis existenciales indeterminadas*, como "Hay organismos extraterrestres", que no especifican ni lugar ni tiempo y son por tanto difíciles de rechazar.

4. Hipótesis *existenciales localizadoras*, como "Hay gran cantidad de hierro en el núcleo terrestre." La localización puede ser espacial, temporal o espacio-temporal.

5. Hipótesis *cuasi-generales*, como "Cuando un sistema se encuentra aislado pasará en la mayoría de los casos a estados de superior entropía". Estas hipótesis admiten explícitamente excepciones, en número especificado o sin especificar.

6. Hipótesis *estadísticas,* como "Las personas ectomórficas tienden a ser cerebrotónicas". Estas hipótesis establecen correlaciones, tendencias, módulos, promedios, dispersiones u otras propiedades globales (colectivas).

7. Hipótesis *universales restringidas,* como "*Laissez-faire, laissez-passer* es el consejo dado por los industriales y los comerciantes a los gobernantes desde el siglo XVIII hasta hace muy poco tiempo": esta hipótesis se refiere a un intervalo limitado. En estas hipótesis se presenta un cuantificador universal restringido, '$(x)_{x \in S}$', que significa: "para todo x de S", siendo S un conjunto limitado.

8. Hipótesis *universales no-restringidas,* como las leyes de la óptica física, que se suponen aplicables a todos los casos de una determinada clase, en todos los lugares y en todos los tiempos. Es una tarea científica de importancia la de establecer en cada caso los límites de tal pretensión de universalidad sin restricciones; y es también una interesante investigación científico-filosófica el especular acerca de la posibilidad de que esa universalidad no-restringida no sea más que una ilusión de seres de corta vida y corta visión.

Por lo que hace a la sistematicidad o carácter sistemático, una hipótesis puede ser *aislada* o *sistémica* (esto es, perteneciente a algún sistema). En sus comienzos todas las generalizaciones empíricas son aisladas: sólo cuando llegan a ser leyes adquieren un estatuto sistémico. Pero, como es natural, ningún enunciado es nunca totalmente aislado: si lo fuera sería ininteligible. 'Aislado' no significa en este caso autocontenido ni desligado del cuerpo del conocimiento, sino simplemente presistemático, y, en particular, pre-teorético. En cambio, las hipótesis sistémicas están insertas en algún sistema, como axiomas (puntos de partida) o como teoremas (consecuencias lógicas). Así por ejemplo, las leyes newtonianas del movimiento son axiomas en la mecánica elemental y teoremas en la mecánica analítica general.

La *potencia deductiva*, o inferencial, es el último rasgo formal que vamos a considerar aquí: se trata de la capacidad que tienen las fórmulas de dar origen a otras fórmulas, con la ayuda del fórceps lógico o matemático. En la práctica no hay ninguna proposición estéril, o sea: toda proposición tiene alguna potencia inferencial. Hasta una proposición singular, e, implica infinitos condicionales con e en posición de consecuente: $e \vdash (h \rightarrow e)$. (Demostración: supongamos que esa inferencia no es válida, o sea, que $h \rightarrow e$ es falsa. Esto exige que h sea verdadera y e falsa. Pero esto está en contradicción con el supuesto de que e es verdadera.) Bajo la noción de 'potencia inferencial' incluiremos, en este contexto, la especificabilidad (o sea, la posibilidad de ejemplificación) y la potencia contrafactual (o sea, la posibilidad de derivar de las hipótesis condicionales contrafactuales). Por lo que hace a la *especificabilidad,* las hipótesis generales pueden ser especificables, condicionalmente especificables o inespecificables:

1. Las hipótesis *especificables* son aquellas de las cuales pueden derivarse proposiciones singulares por simple sustitución de variables por constantes, con objeto de dar razón de (describir o explicar) hechos singulares. Las generalizaciones empíricas de bajo nivel y los teoremas de nivel más bajo de las teorías factuales satisfacen esta condición.

2. Son hipótesis *condicionalmente especificables* aquellas que pueden aplicarse a casos individuales sólo tras adecuadas operaciones formales o semánticas. Así, por ejemplo, una ecuación referente a un individuo (una célula o un sistema celular, por ejemplo) tiene primero que resolverse, y luego interpretarse con términos empíricos para dar razón de

(describir o explicar) un hecho que envuelva al individuo al que se refiere. Análogamente, los enunciados legaliformes que contienen probabilidades teoréticas tienen que transformarse en enunciados con frecuencias si es que han de poder interpretarse como descripciones de propiedades colectivas, pues el concepto descriptivo es "frecuencia", no "probabilidad". La sustitución inversa tendrá que practicarse en enunciados que expresen uniformidades estadísticas empíricas, si se quiere inferir algo acerca de los individuos de una colección. Así, por ejemplo, partiendo de "La frecuencia de la propiedad *B* en la clase *A* es *f*" no podemos inferir que todo *A* o algún *A* dado es *B* o no es *B*; lo único que podemos inferir es que la probabilidad de que un *A* sea *B* es próxima a *f* (si es que estamos dispuestos a considerar las probabilidades no sólo como propiedades colectivas, sino también como propiedades de individuos *qua* miembros de determinados conjuntos).

3. Las hipótesis *inespecificables* no permiten inferir proposiciones singulares por especificación ni siquiera después de haber practicado en ellas transformaciones sintácticas o semánticas. Son ejemplos de esta clase proposiciones cuasi-generales tales como "La mayoría de las sales de los metales alcalinos son muy solubles en agua", e hipótesis estadísticas con predicados no-distributivos (globales), tal como "Cuanto menos homogénea es una población, tanto más ampliamente están dispersas sus propiedades cuantitativas en torno de sus respectivos promedios".

Por lo que hace a la posibilidad que ofrecen de inferir condicionales en subjuntivo, las hipótesis pueden dividirse en *contrafactualmente potentes* y *contrafactualmente débiles*. La mayoría de las hipótesis singulares y generales son contrafactualmente potentes. Así, por ejemplo, partiendo de "Urano gira alrededor del Sol" podemos inferir que si esa tenue mancha de luz que vemos en el cielo fuera Urano, giraría alrededor del Sol. Y partiendo de que "Los mesones son de vida corta" podemos inferir que si esta partícula fuera un mesón, sería de corta vida. En cambio, partiendo de "Toda persona presente en esta habitación es un científico", no podemos inferir que si el portero entrara en la habitación sería un científico: la asociación entre los predicados 'científico' y 'presente en esta habitación' es accidental, no sistemática. Las hipótesis existenciales, como "Existen varios sistemas planetarios", parecen contrafactualmente débiles, pero ésta es una afirmación discutida e irresuelta.

En algunos casos no salta a la vista la posibilidad de inferencias contrafactuales. Por ejemplo, a primera vista la ley estadística "El módulo de la dimensión de la familia en el hemisferio occidental es de dos hijos" resulta contrafactualmente débil o impotente. Pero si se considera el asunto detenidamente, se aprecia que esa afirmación es falsa. Efectivamente, la hipótesis puede parafrasearse así: "Para todo *x*, si *x* es una muestra al azar de la población de las familias occidentales, entonces el módulo del número de hijos de *x* es 2". Si examinando datos demográficos relativos a una comunidad cuya localización no conocemos hallamos que la dimensión típica de la familia difiere significativamente de aquel módulo, podemos inferir que la comunidad no pertenece al hemisferio occidental. Y si alguien dudara de nuestra conclusión, podríamos argüirle que si la comunidad en cuestión se encontrara realmente en el hemisferio occidental, entonces su dimensión familiar más frecuente sería de dos hijos. Así pues, en bastantes casos la fuerza contrafactual depende de la profundidad del análisis.

Vamos a abandonar ahora el punto de vista sintáctico y atender a unas cuantas propie-

dades semánticas de las hipótesis, señaladamente algunas propiedades de los conceptos que aparecen en ellas y de sus referencias. Ante todo, los predicados pueden ser *distributivos* (hereditarios) o *globales* o colectivos (no-hereditarios). Así, por ejemplo, en "El espacio físico es tridimensional", el concepto "tridimensional" es un concepto distributivo o hereditario, porque se entiende que la tridimensionalidad se da en toda parte del espacio físico (aunque esa suposición pueda ser errónea). En cambio, "composición", "promedio" y "viviente" no pueden aplicarse a cualquier parte de sus correlatos: son conceptos colectivos o globales. Esto tiene importancia para la discusión de si las propiedades de los todos están ya presentes en sus partes (mecanicismo primitivo) o son genuinas novedades que surgen de dichas partes (emergentismo); desgraciadamente, las discusiones sobre este punto, tan a menudo confusas, no se han beneficiado de esa distinción.

Otra propiedad semántica de los predicados que hay que considerar es su *orden* o categoría semántica. La mayoría de los predicados se refieren a propiedades de individuos (individuos simples o complejos), pero algunas hipótesis científicas contienen predicados de orden superior, o sea, que predican algo de propiedades o relaciones. Ejemplos de estos predicados de orden superior pueden ser 'relación simétrica' y 'propiedad biológica'. Estos predicados de orden superior se presentan también en el análisis metacientífico.

Un tercer aspecto semántico de interés es la *precisión*. Desde este punto de vista puede establecerse una primera dicotomía con la división entre hipótesis en bruto e hipótesis refinadas. Las hipótesis *en bruto* son imprecisas ya porque se presenten en ellas predicados vagos (como en el caso "A depende de B"), ya porque su alcance sea indeterminado. Causantes de la imprecisión en cuanto al alcance pueden ser la disyunción lógica y, consecuentemente, la cuantificación existencial, como en el ejemplo "Algunas sustancias no se combinan con ninguna otra", y como en muchos teoremas de la física estadística que empiezan con la frase 'Para casi todos los puntos (o trayectorias)...'

Las hipótesis *refinadas*, por su parte, son aquellas que son precisas en cuanto a los predicados y en cuanto al alcance, como, por ejemplo, "El periodo de oscilación de un péndulo simple ideal es $T = 2\pi\,(L/g)^{1/2}$. Las hipótesis refinadas son a menudo igualdades, como "$y = kx$", más que desigualdades como "$y > x$". A primera vista puede parecer que sólo las hipótesis singulares y universales (restringidas o no) pueden precisarse; pero la realidad no es ésa: "Hay exactamente n A en B" y "El P medio de x es igual a y" son perfectamente precisas, aunque la primera es existencial y la segunda estadística. Hay, sin duda, grados de precisión: la misma dicotomía en bruto-refinada es vaga. En cualquier caso, es claro que resulta deseable un máximo de precisión desde el punto de vista de la contrastabilidad, la fuerza y la verdad.

Consideremos, por último, el problema de los correlatos de las hipótesis científicas como totalidades, más que los de sus predicados constituyentes. Todo enunciado contiene los que podríamos llamar predicados rectores; el análisis de éstos mostrará cuál es el correlato del enunciado. Así, el correlato de "Los átomos no están nunca en reposo" es el conjunto de los átomos; el correlato de "Las moléculas se componen de átomos" es el conjunto de todos los pares de átomos y moléculas (el producto cartesiano del conjunto de los átomos por el conjunto de las moléculas), y el correlato de "La temperatura es una variable de estado" es la propiedad física de temperatura. La temperatura, la propiedad temperatura, es el correlato de ese último enunciado, pero éste tiene además un correlato

indirecto o mediato, a saber, el conjunto de los sistemas físicos moleculares. Si atendemos a los correlatos inmediatos, hallaremos que las hipótesis científicas pretenden referir a la experiencia (posible más que actual) o bien a la experiencia y al hecho objetivo, o bien al hecho objetivo solo, o bien a un modelo conceptual de los hechos. Más detalladamente, tenemos las siguientes clases posibles de hipótesis científicas por lo que hace a su correlato inmediato.

1. Hipótesis de *correlato experiencial,* como "Todas las sensaciones de color pueden producirse con sólo dos luces de colores diferentes"; estas hipótesis se refieren a fenómenos, hechos experienciados; contienen, por tanto, predicados fenoménicos, o sea, conceptos que se refieren a la experiencia sensible. Por eso sólo no puede decirse que sean subjetivas, pero son inconcebibles si se prescinde de todo sujeto. Y, desde luego, para ser hipótesis, y no datos, no tienen que referir a experiencia actual, sino a experiencias posibles; tal es el caso de una conjetura universal, o sea, de un enunciado con el cuantificador 'todos' (si no está restringido).

2. Hipótesis de *correlato experiencial y fáctico,* como "La probabilidad de obtener el valor a al medir la propiedad A es p". (En realidad, éste es un esquema de hipótesis, más que una hipótesis, puesto que contiene el predicado variable A.) Hipótesis de esta clase, que suponen a la vez el sujeto y el objeto del conocimiento, se encuentran frecuentemente en el estadio de contrastación o puesta a prueba de las teorías y en el intento de interpretar las teorías factuales a base de operaciones.

3. Hipótesis de *correlato fáctico,* como "Los terremotos tienden a ocurrir cerca de fallas". Se supone que estas hipótesis se refieren a hechos objetivos y a sus propiedades. Pero en realidad, ni siquiera la hipótesis científica más elaborada se refiere a hechos enteros, sino a rasgos escogidos de sistemas concretos, acaecimientos o procesos. Ejemplo: "El hidrógeno tiene tres isótopos." Mientras que las hipótesis de correlato experiencial no contienen más que conceptos observacionales, las de correlato fáctico contienen además o en lugar de ellos conceptos trasempíricos como el de "hereditario" En cierto sentido el progreso del conocimiento consiste en sustituir conceptos observacionales por conceptos trasempíricos, y, análogamente, la hipótesis experiencial, centrada en torno al sujeto, por hipótesis centrada en torno al objeto.

4. Hipótesis cuyo correlato es un *modelo.* Estas hipótesis no tienen correlato inmediato: sus correlatos son modelos teoréticos que, a su vez, se presentan como reconstrucciones aproximadas de sistemas reales (sec. 8.4). Así, por ejemplo, las leyes teoréticas de la física y la economía se refieren directamente a objetos ideales (movimiento sin roces, empresa libre, etc.) que no son sino a lo sumo aproximaciones groseras. Todos los enunciados legaliformes cuantitativos y trasempíricos son en realidad enunciados de correlato modelo, de modo que no puede esperarse que se apliquen sin error alguno a sistemas reales.

En la sección siguiente se examinan más aspectos de la riqueza de las hipótesis.

Problemas

5.3.1. Formular una hipótesis científica y realizar un análisis sintáctico de los predicados que se presenten en ella (número, grado y carácter métrico).

5.3.2. Formular una hipótesis científica de cada alcance posible.

5.3.3. Ilustrar los conceptos de hipótesis aislada e hipótesis sistémica.

5.3.4. Tomar un enunciado de ley cuantitativa que tenga la forma de una ecuación y no pueda tener ejemplos de sustitución a menos de someterlo a alguna transformación.

5.3.5. Citar un par de predicados distributivos (hereditarios) y otro de predicados globales (no-hereditarios).

5.3.6. Ilustrar los conceptos de hipótesis en bruto e hipótesis refinada.

5.3.7. ¿Por qué se prefieren las igualdades a las desigualdades?

5.3.8. Examinar las dos opiniones siguientes: (*i*) las hipótesis científicas son generalizaciones universales referentes a la experiencia; (*ii*) las hipótesis científicas expresan relaciones entre hechos.

5.3.9. Formular con detalle las condiciones que tiene que satisfacer una conjetura para referir a experiencia humana y ser, a pesar de ello, una hipótesis, no un mero resumen de experiencia actual. *Problema en lugar de ése*: Estudiar la exposición que hace Platón, en el *Fedón,* del método de las hipótesis.

5.3.10. Estudiar detalladamente las hipótesis de "como-si", por ejemplo: "Las fuerzas gravitatorias obran sobre los cuerpos como si estos últimos estuvieran concentrados en su centro de masa". ¿Es posible prescindir de la expresión 'como si'?

5.4. CLASES: PUNTO DE VISTA GNOSEOLÓGICO

Adoptemos ahora un punto de vista gnoseológico y dirijamos la atención al arranque, la ostensividad y la profundidad de las hipótesis. Por lo que hace al *arranque,* las hipótesis científicas pueden producirse por analogía, inducción, intuición, deducción y construcción. En realidad, esas palabras representan sólo tipos ideales: toda hipótesis propiamente dicha es una construcción levantada con la ayuda de inferencias de toda clase. Por eso hablaremos más bien de hipótesis halladas *predominantemente* –no exclusivamente– por analogía, inducción, intuición, deducción o construcción.

1. Las hipótesis halladas *analógicamente* son las inferidas mediante argumentos de analogía o por la captación intuitiva de parecidos. Podemos distinguir dos tipos de salto analógico: (*i*) *analogía sustantiva,* como cuando la respuesta de un organismo a un estímulo sugiere la hipótesis de que en un organismo diferente tendrá también lugar la misma relación estímulo-respuesta; (*ii*) *analogía estructural,* como cuando se sospecha que la ley de crecimiento de una población tiene la misma forma que la ley de crecimiento de un individuo. La analogía sustantiva (semejanza específica) se refiere a propiedades específicas y va de un individuo a otro individuo; la analogía estructural, en cambio, afecta a semejanzas formales entre sistemas, físicos o conceptuales. Estas inferencias analógicas pueden producirse espontáneamente: sólo sus justificaciones apelan a esquemas de inferencia más estrictos.

2. Las hipótesis halladas inductivamente son las compuestas sobre la base del examen caso por caso. Podemos distinguir entre dos tipos de generalización inductiva: (*i*) *inducción de primer grado,* o inferencia que va de enunciados particulares a enunciados generales, como cuando del examen de cierto número de casos individuales se infiere que "El estudio del francés interfiere con el aprendizaje simultáneo del italiano"; (*ii*) *induc-*

ción de segundo grado, o generalización de generalizaciones de primer grado, como cuando se imagina la conjetura general "El aprendizaje de cualquier tema interfiere con el de cualquier otro tema contiguo" sobre la base de generalizaciones de primer grado referentes al aprendizaje de concretos pares de temas. La inducción, especialmente cuando *no* parte de enunciados empíricos singulares, tiene un lugar importante en la construcción de la ciencia, pero su papel es mucho más importante en la "inferencia de conclusiones" a partir de la comparación de previsiones teoréticas generales con datos empíricos.

La inducción *empírica,* esto es, la generalización de casos observados, ha sido groseramente sobrestimada por los filósofos, cuya atención estaba absorbida por los primeros estadios (pre-teoréticos) de la investigación, así como por la contrastación empírica de hipótesis no-inductivas. *El inductivismo se ha visto además estimulado por las doctrinas conductista (watsoniana) y mecanicista (pavlovista) del aprendizaje, según las cuales no sólo el aprendizaje pre-conceptual (como el de una habilidad o un lenguaje), sino también el aprendizaje de *cualquier* clase, se hace sobre la base del refuerzo de cada ensayo por otro y mediante la generalización de asociaciones. Según esas doctrinas –extrapoladas desde los experimentos de animales que corren por laberintos hasta abarcar también la construcción de teorías– el crecimiento del conocimiento científico no sería más que una acumulación de esquemas de comportamiento útiles (reforzados), inicialmente conseguidos por una ciega conducta de ensayo y error. En realidad, ni siquiera los ratones del laboratorio se comportan estrictamente según esa opinión, sino que proceden con determinadas expectativas; pero además, esos animales no sólo refuerzan con la experiencia su comportamiento, sino que también lo modifican. Por lo demás, cualquiera que sea el comportamiento de los ratones, parece que los hombres aprenden a plantear y a resolver problemas *conceptuales* por el procedimiento de formular conjeturas y someterlas metódicamente a contrastación. Algunas de esas conjeturas son efectivamente el resultado de experiencia acumulada en una dirección (inducciones empíricas, pues), pero resulta que esas conjeturas carecen de interés científico precisamente porque no rebasan en mucho la experiencia. Las conjeturas más importantes se consiguen sobre la base de poca experiencia –o ninguna– de tipo pre-conceptual: no son soluciones a corrientes y recurrentes problemas empíricos, sino a nuevos problemas de naturaleza conceptual. El inductivismo, que basta para dar razón de ciertos procedimientos rutinarios, deja de explicar el planteamiento de problemas originales y su resolución mediante la invención de hipótesis enteramente nuevas, y, más precisamente, de hipótesis que refieren a hechos objetivos o a modelos idealizados de los mismos, y no a experiencia inmediata (cf. sec. 5.3).*

3. Las hipótesis halladas *intuitivamente* son aquellas cuya introducción no ha sido planeada, y que tienen un aspecto natural y obvio: para una visión primaria y superficial, parecen nacidas por generación espontánea, sin investigación previa ni elaboración lógica. Pero esta impresión es falsa, pues toda hipótesis tiene que ir por lo menos acompañada por el "sentimiento" de que es lógicamente consistente, compatible con el cuerpo del conocimiento previo y contrastable, si es que tiene que considerarse científica; y ese "sentir" no significa sino un sospechar oscuramente (cf. sección 5.1). Muchas hipótesis que hoy día parecen "naturales", "obvias" e "intuitivas" son construcciones bastante elaboradas que no habrían podido concebirse en épocas anteriores ni en distintos climas intelectuales. Por ejemplo, la hipótesis según la cual existe una relación fija entre la cantidad de

calor que emite una estufa eléctrica y la cantidad de energía eléctrica que consume parece ahora obvia porque pagamos el consumo de energía; pero ni siquiera se imaginó –por no hablar ya de comprobar– antes de que se sospechara que la electricidad podría convertirse en calor, sospecha confirmada por J. P. Joule en 1843. La hipótesis, no menos "natural", de que el efecto biológico de una droga está relacionado con su constitución química no se formuló hasta esa misma época aproximadamente (J. Blake, 1841). Esas dos hipótesis eran tan poco intuitivas en el momento en que se formularon que tuvieron que luchar seriamente hasta ser reconocidas: pasar este hecho por alto es tan insensato como negar que la invención de hipótesis no se consigue mediante la mera acumulación de datos, sino que exige alguna intelección y se produce frecuentemente como una iluminación –pero jamás sin algún conocimiento previo y su ponderación.

4. Las hipótesis *deductivamente* obtenidas son las que se deducen de proposiciones más fuertes. Pueden distinguirse entre ellas tres subclases: (*i*) *teoremas*, o consecuencias lógicas de algunos de los supuestos anteriores de una teoría, como, por ejemplo, las hipótesis relativas a la distribución geográfica de una determinada especie, cuando se derivan de postulados biogeográficos generales; (*ii*) *inferencias basadas en teorías de más amplio alcance*, como ocurre cuando una relación termodinámica se deduce de principios de mecánica estadística.

5. *Construcciones* más o menos elaboradas y que no se infieren visiblemente de nada, sino que se imaginan con la ayuda explícita de algunos instrumentos conceptuales. Por ejemplo, teniendo en cuenta determinadas ecuaciones de movimiento, se cortan a medida, por así decirlo, los principios más fuertes de la física (los principios variacionales), al modo como Newton probó con varias funciones para expresar la distancia entre los cuerpos, hasta tropezar con la ley de la razón inversa del cuadrado, única que llevaba a las leyes de Kepler a través de sus propias leyes del movimiento (todas las cuales son a su vez construcciones típicas).

Pero el hecho de que las construcciones no se infieran ni deduzcan de otras proposiciones no debe movernos a creer que sean agudezas *libremente* inventadas: las hipótesis científicas nacen como respuestas a problemas determinados que se formulan en un cuerpo dado de conocimiento, y se espera que superen la contrastación con nueva experiencia. Y aunque cualquier conjunto de datos puede recogerse por varias hipótesis, éstas no se presentan más que en inteligencias entrenadas y tienen que satisfacer ciertos requisitos, en vez de ser arbitrarias; ésta es, precisamente, la diferencia entre una conjetura sin fundamento y una hipótesis científica.

Y el hecho de que no existan técnicas *infalibles* para la formación de hipótesis no implica que no existan determinados *enfoques*: existen tantos cuantos modos de pensar. Un modo de pensar característico de nuestra época es el estilo probabilístico. Considérese, por ejemplo, la transmisión de mensajes a lo largo de un canal como puede ser una línea telefónica de larga distancia. Supongamos que el problema consista en formular una hipótesis sobre la inteligibilidad de esos mensajes. Una medición adecuada de la inteligibilidad de una palabra para su receptor es la probabilidad de que éste pueda indentificarla correctamente a la primera presentación de la misma. Una vez cuantificado de este modo, y dilucidado al mismo tiempo, el concepto de inteligibilidad, es más bien fácil construir una hipótesis relativa a la inteligibilidad de un mensaje tras un determinado número de

repeticiones: la teoría matemática de la probabilidad actúa aquí como una incubadora de la hipótesis factual. Análogamente, el biólogo teórico usará teorías físicas para la formación de hipótesis biológicas, y el historiador usará teorías sociológicas para la formación de hipótesis históricas. Este procedimiento que consiste en hacer que una teoría de especie distinta incube una hipótesis de la teoría propia podría llamarse *técnica de cuclillo.*

En todo caso, el hecho es que las hipótesis científicas nacen de diversos modos y tienen frecuentemente un origen espúreo, en el sentido de que las argumentaciones que llevan a ellas son inconsecuentes, o bien proceden de presentimientos equivocados. Las vías que llevan a la formulación de hipótesis científicas son intrincadas y a menudo enrevesadas; por esta razón, al exponerlas por escrito, los científicos suelen reconstruirlas enteramente, para desesperación del historiador y del psicólogo de la ciencia. (La presentación sistemática de un tema no coincide casi nunca con su presentación histórica; muy frecuentemente, la una es la inversa de la otra. Así, por ejemplo, una *presentación histórica* de la genética mostraría la cadena siguiente: variaciones individuales –herencia mendeliana– base cromosomática –genes– moléculas de DNA. En el momento de escribir estas páginas, una *presentación sistemática* podría partir de las moléculas de DNA [hipótesis de nivel alto] y terminar con las consecuencias observables en cuanto a caracteres fenotípicos [hipótesis de nivel bajo].) Las hipótesis científicas no quedan legitimadas o refutadas por su *origen,* sino por el poder de las *contrastaciones* teoréticas y empíricas a que se someten: una hipótesis aspira a obtener certificados de contrastación, no certificados de nacimiento.

Examinemos ahora el problema del *grado de ostensividad* (o, por el contrario, de abstracción) de las hipótesis científicas. Esta característica se determina por el grado de ostensividad de los predicados que aparecen en ellas. Consiguientemente, podemos adoptar la dicotomía, usada para conceptos, observacionales/no-observacionales (cf. sec. 2.6).

Las hipótesis *observacionales,* o de nivel bajo, no contienen más que conceptos observacionales, o sea, conceptos referentes a propiedades observables como la posición, el color, la textura. Muchos objetos teoréticos que se consideran hechos son en realidad hipótesis de nivel bajo, como "Los pájaros ponen los huevos en nidos." Hablando estrictamente, ninguna hipótesis puramente observacional puede formar parte de teorías propiamente dichas, puesto que estas últimas contienen conceptos teoréticos; las hipótesis observacionales no pueden sino generalizar situaciones observables, y si se incluyen en alguna teoría tiene que ser mediante su traducción a enunciados no-observacionales.

2. Las hipótesis *no-observacionales* son las que contienen conceptos no-observacionales, ya sea variables intervinientes (por ejemplo, "promedio"), ya sea construcciones hipotéticas (por ejemplo, "inercia"). Tales conceptos no se encuentran entre los datos empíricos en bruto, pero el conocimiento ordinario está lleno de ellos: "alegría", "amor", "pensamiento", "objetivo" y otros muchos conceptos parecidos no pueden ser nunca objeto de observación para establecer si son verdaderos o falsos de algo: esto tiene que suponerse o inferirse siempre. Los conceptos no-observacionales *ordinarios* pueden presentarse en las hipótesis científicas del estadio descriptivo de una disciplina; tal es el caso de "El suicidio es más frecuente entre los protestantes que entre los católicos." Pero en los estadios ya más adelantados no se encuentran más que hipótesis no-observacionales *teoréticas* como "La inhibición de la digestión en los estados de tensión emo-

cional favorece el uso de la sangre por los órganos efectores." Existen también hipótesis de nivel intermedio, las cuales contienen a la vez conceptos ordinarios y conceptos teoréticos y funcionan como puentes entre la teoría y la experiencia. Un ejemplo de esas hipótesis *mixtas* o intermedias es "La carne es rica en proteínas." La presencia de hipótesis mixtas en una teoría es condición suficiente de la contrastabilidad empírica de ésta, pero no es una condición necesaria: en la mayoría de los casos las predicciones de la teoría se traducirán a un lenguaje semi-empírico: por ejemplo, 'rayo de luz' se traducirá por 'haz de luz'. Lo importante para una hipótesis científica no consiste en asegurar la presencia de conceptos ordinarios en ella, y aún menos la de conceptos observacionales: lo que hay que garantizar es la ausencia de conceptos inescrutables en la hipótesis, tales como "energía de la libido" o "movimiento desde el futuro hacia el pasado". Para ser contrastable, una hipótesis no tiene que contener más que predicados *escrutables,* por complicados que sean.

El tercer y último rasgo epistemológico de las hipótesis que vamos a considerar aquí es la *profundidad.* Desde este punto de vista las hipótesis pueden dividirse en fenomenológicas (que no hay que confundir con fenoménicas, con la experiencia como correlato) y no-fenomenológicas, o representacionales.

1. Las hipótesis *fenomenológicas* son aquellas que, ya contengan conceptos observacionales, ya sean construcciones abstractas (esto es, epistemológicamente altas), no se refieren al funcionamiento interno de los sistemas, sino sólo a su comportamiento externo. Todas las relaciones factor-producto (*input-output*) en termodinámica, ingeniería eléctrica o economía son fenomenológicas en la medida en que no se refieran a los procesos por los cuales los factores se convierten en productos. Análogamente, las fórmulas químicas que no especifican la estructura química ni los mecanismos de reacción son hipótesis fenomenológicas. Consideremos, por ejemplo, la fórmula de la síntesis de la glucosa en las hojas de las plantas verdes:

$$\text{Dióxido de carbono} + \text{Agua} \xrightarrow[\text{Clorofila}]{\text{Luz}} \text{Glucosa} + \text{Oxígeno}$$

Esa fórmula no dice sino que "bajo la acción de la luz" y "en presencia de clorofila", ciertas sustancias se transforman en otras sustancias. No se indican los modos de acción de la luz y de la clorofila: todo el asunto se trata como una caja negra sin estructura que, de algún modo misterioso, convierte ciertos factores en ciertos productos. Sólo cuando, con más conocimiento, se estudian los mecanismos fotoquímicos y enzimáticos de la fotosíntesis, se rebasa el estadio fenomenológico.

2. Las hipótesis *representacionales* o "mecanísmicas" rebasan los equilibrios insumo-producto: especifican mecanismos, los cuales, por lo demás, no tienen que ser necesariamente mecánicos en el sentido estricto del engranaje y la polea. Los conceptos teoréticos de las hipótesis representacionales aspiran a denotar propiedades reales: no son simples variables útiles para condensar y computar datos. Por ejemplo, un planteamiento representacional del ferromagnetismo y la ferroelectricidad no se limitará a formular relaciones fenomenológicas entre polarización y temperatura, sino que intentará explicar esas relaciones deduciéndolas de hipótesis representacionales más profundas; en particular, intentará explicar la brusca caída de la polarización que se produce a cierta tempe-

ratura crítica como efecto de un cambio discontinuo de la estructura microscópica o semimicroscópica. O tomemos el ejemplo del crecimiento biológico. Podemos reunir y generalizar mediante curvas estudios empíricos del crecimiento de individuos y poblaciones. Como esas curvas se refieren a intervalos temporales limitados, pueden ser recogidas por infinitas funciones que relacionen la dimensión de la entidad biológica con su edad. Cada una de esas funciones será una hipótesis fenomenológica sobre el crecimiento. Si no se dispone de conjetura alguna sobre el mecanismo del crecimiento, no podremos decidir cuál de ese conjunto infinito de hipótesis fenomenológicas es la más verdadera. Puede disminuirse esa incertidumbre mediante supuestos determinados respecto de los procesos de crecimiento –supuestos diferentes para los individuos y para las poblaciones. Por ejemplo, en el caso del crecimiento individual podemos formular la hipótesis de que la expansión de la célula es por lo menos tan importante como su reproducción, mientras que por lo que hace a poblaciones podemos formular la hipótesis de que lo único que cuenta es la reproducción. De este modo se construyen hipótesis mecanísmicas, que son más fuertes. No hay, además, límite que pueda ponerse a su corrección; por ejemplo, puede también tenerse en cuenta la competición con otras entidades. En cualquier caso, mientras que el planteamiento fenomenológico nos daba una infinidad de hipótesis rivales, el planteamiento representacional da de sí un manojo de hipótesis que concurren a explicar los mismos datos; además, ahora puede aducirse otra clase de evidencia empírica, no directamente referida al crecimiento, sino a otros procesos (por ejemplo, la competencia intraespecífica) en favor o en contra de las hipótesis representacionales.

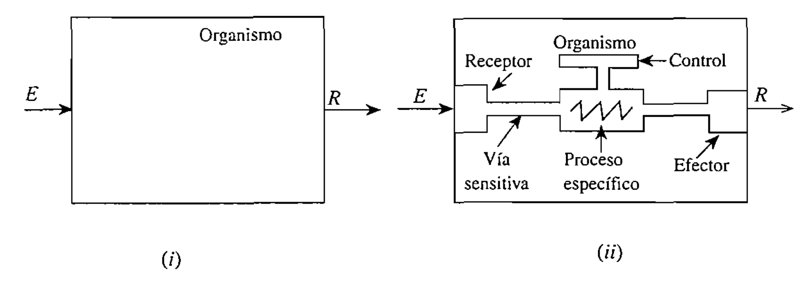


FIGURA 5.3. Dos enfoques psicológicos. (*i*) Enfoque *fenomenológico* (de la caja negra): relaciones funcionales $R = F(E)$ entre los estímulos E y las respuestas R. (*ii*) Enfoque mecanísmico (de la caja traslúcida): un sistema de conjeturas (una teoría) que considera el mecanismo responsable del comportamiento visible, explicando así la hipótesis fenomenológica $R = F(E)$.

Algunas escuelas filosóficas, especialmente el positivismo y el convencionalismo, rehúyen las hipótesis mecanísmicas por el hecho de que éstas rebasan con mucho la condensación de los datos; esas escuelas toleran el uso de conceptos no-observacionales siempre que se consideren como intermediarios simbólicos (variables intervinientes) entre conceptos observacionales, y no como representativos de rasgos reales, aunque no observables. La decisión entre esta línea de conducta y la que consiste en animar incluso a la introducción de construcciones hipotéticas con sólo que sean escrutables es una cuestión filosófica, pero no debe tomarse en beneficio de una determinada escuela filosófica,

pues eso sería fatal para la ciencia. Así, por ejemplo, la decisión de considerar el concepto de "impulso" o tendencia como una construcción hipotética más bien que como una variable interviniente tiene que basarse en el descubrimiento de que todo impulso estudiado hasta ahora *tiene* un correlato neurológico. Lo mismo puede decirse de todas las leyes de la psicología del comportamiento: puesto que sabemos que en el organismo vertebrado hay un proceso de excitación del sistema nervioso central que media entre todo estímulo y su respuesta, nos vemos movidos a formular la hipótesis de que toda hipótesis fenomenológica (conductística) sobre el comportamiento cuenta con un conjunto subyacente de leyes neurofisiológicas (cf. figura 5.3).

La negativa a investigar este supuesto aísla a la psicología de la biología, le priva de evidencia de un tipo nuevo (neurofisiológica) y de una fundamentación capaz de explicar lo superior a base de lo inferior. Dicho de otro modo: la disputa en torno a los conceptos de variable interviniente y construcción hipotética es una discusión metacientífica, pero tiene que resolverse en interés del progreso de la ciencia, y no apelando a dogmas filosóficos. Y el progreso científico ha consistido en gran medida en formular hipótesis –a veces confirmadas– sobre la existencia de cosas y propiedades imperceptibles, y de mecanismos que explican lo que puede percibirse. Las hipótesis representacionales, que admiten órganos y funciones además del comportamiento, son *más profundas* que las correspondientes hipótesis fenomenológicas, en el sentido de que alcanzan niveles de realidad más profundos. Al mismo tiempo, esas hipótesis son lógicamente *más fuertes,* puesto que implican las hipótesis fenomenológicas; y son *mejor contrastables,* porque son sensibles a más pequeños detalles y a una experiencia más varia. Por eso el oponerse a ellas es oponerse a la maduración de la ciencia.

Pero es ya hora de estudiar el fundamento de las hipótesis.

Problemas

5.4.1. Ilustrar las siguientes clases de hipótesis científicas: hipótesis halladas por analogía, por inducción, por intuición, por deducción; hipótesis construidas.

5.4.2. Examinar la opinión de H. Poincaré, según la cual ciertas hipótesis científicas son *naturales,* en el sentido de que no podemos eliminarlas. Entre ellas citaba (*i*) la contigüidad (acción por contacto), (*ii*) la continuidad de la relación causal y (*iii*) la linealidad (superponibilidad) de los pequeños movimientos. Cf. *La Science et l'Hypothèse,* cap. IX. *Problema en lugar de ése*: Elaborar la distinción, esbozada en el texto, entre inducción no-empírica e inducción empírica.

5.4.3. Comentar el siguiente caso de invención de hipótesis. J. Dalton inventó la ley de las presiones parciales: "La presión de cada constituyente de una mezcla gaseosa es independiente de las presiones de los demás componentes." Dalton halló esta ley basándose en un supuesto falso, como expone T. G. Cowling en *Molecules in Motion,* 1950, Nueva York, Harper and Brothers, 1964, p. 34: "Dalton, creyendo que las presiones de un gas se deben a la repulsión recíproca de sus moléculas, entendió esa ley en el sentido de que una molécula sólo es repelida por otras iguales. En consecuencia, declaró, ninguna presión atmosférica, por fuerte que sea, puede detener la evaporación del agua si el aire está perfectamente seco; pero la evaporación se detiene sin más en cuanto que el aire contiene la cantidad adecuada de agua, porque las moléculas de vapor repelen hacia abajo todas las moléculas que en otro caso se separarían del agua. Dalton tiene toda la razón al decir que la evaporación no puede detenerse más que por la presencia de suficiente vapor de

agua en el aire; Dalton tenía el don, común a todos los hombres realmente grandes, de llegar por lo común a conclusiones correctas aun llevado por argumentaciones deficientes". Considerar el arranque de la ley, su profundidad y la profundidad de sus hipótesis subyacentes. *Problema en lugar del anterior*: Estudiar el modo cómo C. Darwin derivó su hipótesis de la tasa geométrica del aumento de la población partiendo de la teoría malthusiana de la población. *Problema en lugar del anterior*: Examinar la inferencia por Goethe de su hipótesis evolucionista a partir de la idea de que todo ser vivo es copia de un tipo ideal (arquetipo).

5.4.4. Formular una hipótesis observacional y otra no-observacional y llevar a cabo un análisis epistemológico de ambas. *Problema en lugar de ése*: Formular varias hipótesis para explicar algún hecho reciente de la propia experiencia; clasificarlas.

5.4.5. Indicar si las siguientes hipótesis son observacionales o no-observacionales. Hay que prestar atención a las diferencias entre propiedades efectivamente observadas y propiedades observables (entre las cuales se incluyen las que pudieron haber sido observadas, pero no lo fueron). (*i*) "Los vikingos llegaron a Norteamérica durante la Edad Media". (*ii*) Todo cuerpo persiste en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a menos que se vea obligado a cambiar ese estado por fuerzas que se le impriman" (primera ley newtoniana del movimiento). (*iii*) "El 90% de los pacientes neuróticos han mejorado mucho, o se han curado, al cabo de cinco años, se les haya tratado o no". *Problema en lugar de ése*: Informar y comentar a propósito de "The Black Box" (La caja negra), cap. 6 de la obra de W. R. Ashby, *An Introduction to Cybernetics,* 1956, Nueva York, John Wiley, 1963.

5.4.6. Las supersticiones nacen frecuentemente de uno de los siguientes modos: (*i*) se observa unas cuantas veces una coincidencia casual entre *A* y *B* o incluso sólo una vez, y se forja la conjetura de que todos los *A* son *B*, o a la inversa; (*ii*) se inventa una conjetura para dar razón de algún hecho, y se acepta porque no hay ninguna otra a mano o porque concuerda con el cuerpo de creencias dominante. ¿Proceden de ese modo los científicos? *Problema en lugar de ése*: Según Hume y sus seguidores, toda hipótesis (*i*) se produce por inducción, por mucho que rebase las evidencias disponibles para ésta, y (*ii*) se sostiene por la costumbre. Examinar esta doctrina en la versión dada por N. Goodman, *Fact, Fiction and Forecast,* Londres, Athlone Press, 1954, en la cual el hábito psicológico se sustituye por un "atrincheramiento" en el lenguaje de los predicados "que habitualmente hemos proyectado", o sea, a propósito de los cuales hemos hecho previsiones.

5.4.7. W. Gilbert (1600) explicaba la orientación, bastante fija, de la brújula suponiendo (h_1) que nuestro planeta es un gran imán en interacción con la aguja. Y para explicar el campo magnético terrestre formuló la hipótesis de que hay materiales magnéticos subterráneos (h_2) y corrientes eléctricas por debajo de la superficie (h_3). Analizar esta situación y determinar si el seguir preguntando no puede llevar a una regresión al infinito. *Problema en lugar de ése*: Examinar la difundida creencia según la cual Kepler consiguió sus leyes contemplando las tablas de Tycho Brahe, y Newton su ley gravitatoria partiendo exclusivamente de las leyes de Kepler. Si el lector cree esas historias, que se aplique él mismo la receta a sus estudios.

5.4.8. Los experimentos han enseñado que la movilidad de los electrones en el seno de semiconductores (como el germanio que se utiliza en los transistores) es bastante independiente del campo eléctrico que se les aplique (h_1). La primera hipótesis propuesta para explicar esa generalización fue que los electrones encuentran una resistencia que se contrapone al campo externo (h_2). ¿(Qué es lo que puede haber sugerido h_2? ¿Era h_2, fenomenológica o representacional? El paso siguiente consistió en explicar h_2. Se supuso primero que la resistencia se debía a las colisiones de los electrones con los átomos (h_3), pero esta hipótesis tenía consecuencias contrastables que resultaron falsas. La hipótesis aceptada en el momento de escribir estas páginas es que lo que se opone al impulso de los electrones son las ondas elásticas (sonoras) producidas por el movi-

miento térmico de los átomos (h_4). Analizar esta situación. *Problema en lugar de ése*: ¿Cuáles son las diferencias entre la medicina que se limita a describir y correlatar síntomas y la medicina que, según C. Bernard, intenta descubrir "*la filiation physiologique des phénomènes*"?

5.4.9. ¿Se obtienen las hipótesis a partir de algo o son inventadas? (Aspecto psicológico) ¿Son inferidas o puestas? (Aspecto lógico). Indicaciones: (*i*) considerar si la experiencia puede suministrar, o sugerir al menos, proposiciones referentes a hechos no experimentados; (*ii*) considerar el "hecho" de que sólo las personas problemáticamente orientadas, de carácter inquisitivo, quedan sin satisfacer por lo que reciben de los sentidos; (*iii*) hojear W. Whewell, *Novum Organum Renovatum*, 3a. ed., Londres, 1858, pp. 64ss. *Problema en lugar de ése*: Según el inductivismo, las hipótesis científicas se consiguen mediante inferencia a partir de los datos. Si tal es el caso, ¿cómo puede ser que, por definición, las hipótesis rebasen los datos?

5.4.10. La intensidad percibida, ψ, de un estímulo físico que tiene la intensidad S se nos da por la ley psicofísica de S. S. Stevens: $\psi = k \cdot S^p$, en la cual el valor preciso de p es característico para cada clase de estímulo y se encuentra entre 0,3 y 3,5. Esta ley fenomenológica ha sido confirmada para más de doce clases de percepción (brillo, longitud aparente, duración, peso, velocidad, etc.). Las constantes k y p que aparecen en esa ley son puramente numéricas: no tienen interpretación psicológica, por no hablar ya de interpretación fisiológica. Examinar la validez de la "ley" de Stevens (reproducida en casi todos los manuales de psicología) en vista de que no hace lugar a la inhibición ni al estado interno del animal. *Problema en lugar de ése*: La historia social y la historia económica estudian los mecanismos responsables de ciertas regularidades históricas. Estudiar esto como un caso de interpretación de hipótesis fenomenológicas por medio de hipótesis representacionales.

5.5. FUNDAMENTO

Las hipótesis científicas, cuando son verdaderas, resultan ser afortunadas penetraciones mentales, pero no nacen por generación espontánea ni se aceptan sin más por el hecho de ser afortunadas, o sea, de recoger los hechos. Las hipótesis científicas están todas más o menos basadas o *fundamentadas* en conocimiento previo, o sea, que se proponen, se investigan y se sostienen sobre la base de determinados fundamentos que no son sólo los datos que recogen. El hecho de que esos fundamentos no se consideren nunca definitivos, sino que muchas veces tengan que sustituirse, es una evidencia más en favor de la tesis de que siempre se busca el mejor fundamento para una hipótesis científica. La tarea de fundamentar las hipótesis científicas en bases distintas de la evidencia empírica puede entenderse como su *justificación teorética* (o convalidación teorética). La justificación de esa denominación consiste en que la mejor fundamentación de una hipótesis es su inserción en una teoría, o sea, en un sistema de hipótesis que se apoyan y controlan mutuamente. (El considerar la relación de fundamentación como una relación de orden estrictamente lineal nos llevaría a una regresión al infinito.)

Además, las hipótesis científicas no merecen que se las someta a la contrastación con la experiencia más que si existe alguna razón para sospechar que pueden superar esa prueba; o sea, que tienen antes que aparecer como conjeturas razonables, y no simples ocurrencias arbitrarias. Por regla general, no se desperdicia esfuerzo alguno a propósito de

ocurrencias de este último tipo; así, por ejemplo, no suelen financiarse investigaciones sobre conjeturas injustificadas, aunque sean contrastables. Una hipótesis puede ser completamente nueva y excéntrica, pero tiene que respetar de algún modo el cuerpo capital del conocimiento y la tradición de la ciencia, no tanto en cuanto a la letra (resultados) como en cuanto a lo que se llama el espíritu de la ciencia (sus métodos, sus fines y sus grandes ideas). O sea: el material en bruto al que hay que aplicar el método de la ciencia, las ideas sin elaborar o a medio elaborar que hay que estudiar, tienen que concebirse según el espíritu de la ciencia. Dicho de otra manera: el valor veritativo previo de la hipótesis, su valor veritativo respecto del conocimiento previo, tiene que ser distinto de la falsedad. Pero incluso la hipótesis mejor fundada debe proponerse con una sonrisa, como gusta de decir Szent-Györgyi.

Lo entendido por espíritu de la ciencia depende del estado del conocimiento y hasta de la moda científica: después de todo, no es sino una parte o parcela de lo que suele llamarse el espíritu de la época (*Zeitgeist*), o sea, del conjunto de ideas y normas básicas que modelan ya nuestra selección y nuestro planteamiento de problemas (cf. sec. 4.3). Este concepto de clima intelectual es un concepto mal determinado, pero una vez liberado de resonancias espiritualistas, resulta ser útil para comprender la gestación y la recepción de las hipótesis científicas: nos ayuda a entender, por ejemplo, por qué tantas ideas que hoy día parecen obvias no se "vieron" así en otros tiempos, y por qué se tomaron en cambio como obvias en el pasado tantas ideas falsas. Las hipótesis, científicas o no, no nacen nunca en un vacío, ni se estiman nunca aisladas de la herencia intelectual general propia de la atmósfera intelectual de un ambiente o de un periodo. Digámoslo de un modo ligeramente distinto: la invención, la investigación, la aceptación y la recusación de hipótesis no son más que un aspecto de la creación de cultura. Consiguientemente, el no prestar atención más que a su forma lógica y a su apoyo empírico es revelar una visión muy miope de la cultura. Un par de ejemplos pueden ilustrar este punto.

En 1630, J. Rey, un oscuro físico francés, publicó una obra en la que presentaba dos hipótesis originadas por sus propios experimentos, así como una regla de método que había empleado en ellos. Las hipótesis eran: que el peso de los metales aumenta al calentarlos (a causa de la "absorción de aire"), y que en toda transformación de esa clase se conserva el peso. La regla de método decía que en todas las reacciones químicas hay que controlar por medio de la balanza los pesos de los cuerpos. El eficaz Mersenne comentó el libro en 1634, y la obra se reimprimió en 1777, pero las ideas de Rey no consiguieron predicamento. A. L. Lavoisier las volvió a inventar y las refinó entre 1772 y 1789; por lo demás, las aportaciones de Rey que hemos resumido son precisamente el núcleo de la revolución científica provocada por Lavoisier. ¿Por qué no ha sido históricamente Rey un precursor de Lavoisier? ¿Por qué no ha desempeñado ningún papel en el desarrollo de la química? Sus ideas se despreciaron porque no armonizaban con la doctrina química dominante en su época, y porque ésta se consideraba entonces satisfactoria. Efectivamente, incluso el simple uso de escalas era en aquella época cosa exclusiva del físico; la conservación del peso no podía atraer a personas presas en la creencia aristotélica en que el peso no es una propiedad primaria, sino accidental; y el aumento de peso del metal durante la calcinación (explicado por Rey como una absorción de aire) no podía convencer a personas que creían que cierta tierra o "cal" (lo que llamamos un óxido) es más elemental y,

por tanto, más simple, que un metal. En resolución: Rey no consiguió dar a sus ideas y procedimientos una fundamentación aceptable para sus contemporáneos (se encontrarán más detalles de esta historia en la sec. 14.1).

Nuestro segundo ejemplo se refiere a I. Semmelweis, el médico vienés que explicó en 1847 la mortal fiebre puerperal como una consecuencia del transporte involuntario, por comadronas y médicos, de "material cadavérico" manejado en la sala de disección. Propuso consiguientemente que todo el personal de la maternidad se lavara y desinfectara las manos antes de pasar de una sala a otra. Esto bastó para reducir la mortalidad de un 12% a un 1%, lo cual dio un robusto apoyo empírico a la hipótesis de Semmelweis. Pues bien: no se le creyó, se le combatió y se le llevó finalmente a la locura. Ahora nos es muy fácil condenar a sus críticos contemporáneos, incluyendo entre ellos al gran patólogo R. Virchow; pero la actitud de éstos, aunque dogmáticos, no era infundada. La hipótesis de Semmelweis entraba en conflicto con la teoría patológica dominante, según la cual la enfermedad se desarrolla y reside en nuestros cuerpos (teoría de los factores endógenos). Esta teoría había sido de una fecundidad enorme, porque había orientado a los médicos al estudio del cuerpo humano, en vez de permitirles contentarse con aludir a vagos factores exógenos, como los demonios, los miasmas y los gérmenes. La teoría de los gérmenes, que había explicado la malaria en la Antigüedad y la tuberculosis y la peste en los siglos XVII y XVIII, había quedado desacreditada por buenas razones: en primer lugar, no había sido corroborada independientemente, pues no se habían identificado ni aislado los gérmenes que suponía; en segundo lugar, aconsejaba la resignación ante lo inevitable, más que la investigación y la lucha, mientras que la semifalsa teoría del origen citológico de la enfermedad había dado un impulso poderoso a la citología y a la patología. Además, Semmelweis no había ofrecido explicación alguna del mecanismo contagioso: para esto hubo que esperar hasta Pasteur y su escuela, que mostraron que los microbios pueden reproducirse a enormes velocidades. En resolución: la hipótesis de Semmelweis carecía de justificación teorética y contradecía una teoría aceptada y fecunda: era sólo una feliz ocurrencia que no se aceptó hasta que quedó inserta en la teoría de los gérmenes patógenos.

Los casos de Rey, Semmelweis y otros innumerables precursores ignorados nos enseñan varias moralejas. En primer lugar, que la exigencia de fundamentación o convalidación teorética tiene *dos caras:* por un lado nos protege contra las ideas extravagantes; por otro lado, si se exagera, puede agostar cualquier número de verdades y, en particular, puede retrasar o hasta impedir cambios revolucionarios en la ciencia. En segundo lugar; la exigencia de concordancia con los hechos (convalidación empírica) es también de *dos caras:* por un lado es una condición necesaria de la verdad y una protección contra la especulación; por otro lado, puede consagrar hipótesis infundadas y resueltamente falsas (por ejemplo, correlaciones meramente casuales, pero de larga duración) y en muchas mentalidades puede anular el deseo de convalidación teorética. La exigencia de fundamentación y la de contrastación empírica, si se cumplen independientemente la una de la otra, tienen que manejarse con cuidado para evitar la recusación dogmática de la verdad y la aceptación dogmática del error. El camino óptimo consiste en elaborar simultáneamente la convalidación teorética y la empírica.

Rara vez –si es que ocurre alguna– tenemos directamente la ocurrencia de hipótesis plenamente fundadas y convalidadas y, además, interesantes; generalmente procedemos

por ensayo y error, guiados por intuiciones más o menos oscuras; y frecuentemente partimos de ocurrencias sin fundar y sin contrastar. Podemos, en efecto, distinguir los siguientes niveles en la operación de conjeturar: ocurrencias, hipótesis empíricas, hipótesis plausibles, hipótesis convalidadas.

1. *Ocurrencias*: son hipótesis sin fundar ni contrastar. Son sin duda sugeridas oscuramente por conocimiento anterior y por nueva experiencia, pero no quedan suficientemente justificadas por todo ello: siguen colgadas en el aire (cf. fig. 5.4 [*i*]). El predominio de ocurrencias caracteriza la especulación, la pseudociencia y los estadios primitivos del trabajo teorético.

2. *Hipótesis empíricas*: son conjeturas sin fundamentar, pero empíricamente convalidadas. Una hipótesis empírica es una conjetura aislada sin más apoyo que el ambiguo ofrecido por los hechos que recoge: carece de convalidación teorética (cf. fig. 5.4 [*ii*]). Pertenecen a este nivel las correlaciones empíricamente registradas en medicina, las reglas pragmáticas de la meteorología sinóptica, y las reglas de este tipo que se observan en la metalurgia y en la agricultura. Cuando en un campo dominan hipótesis empíricas, podemos hablar de conocimiento empírico propiamente dicho.

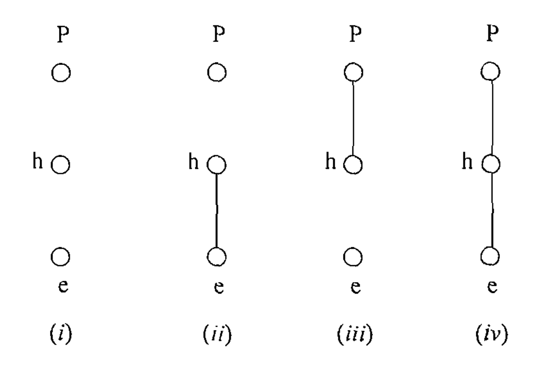


FIGURA 5.4. Cuatro niveles de convalidación: el conocimiento previo, *P*, y la nueva experiencia, *e*, pueden combinarse para dar (*i*) ocurrencias, (*ii*) hipótesis empíricas, (*iii*) hipótesis plausibles o (*iv*) hipótesis convalidadas.

3. *Hipótesis plausibles*: son hipótesis fundamentadas, pero sin contrastar. La hipótesis plausible es una conjetura razonable que no ha pasado la prueba de la experiencia, pero que, en cambio, puede sugerir las observaciones o los experimentos que servirían para someterla a contrastación: carece de justificación empírica, pero es contrastable (cf. fig. 5.4 [*iii*]). La conjetura de J. C. Maxwell sobre la existencia de ondas electromagnéticas fue hipótesis plausible que inauguró todo un nuevo campo de investigaciones.

4. Hipótesis convalidadas: son hipótesis bien fundadas y empíricamente confirmadas (cf. fig. 5.4 [*iv*]). El predominio de hipótesis de este nivel caracteriza el conocimiento teorético y es la señal de la ciencia madura. Si una hipótesis convalidada es, además, general y sistémica, la honramos con el título de ley; y si su estatuto lógico en un sistema es el de un supuesto inicial (axioma), la llamamos principio. Pero si notamos seriamente que ninguna nueva experiencia ni ningún razonamiento nuevo podrá nunca afectar a nuestra hipótesis convalidada, la clasificamos entre las verdades de la lógica... o fundamos una nueva religión.

La historia de la ciencia es en gran medida una secuencia de transiciones entre esas

clases de hipótesis –y no sólo hacia adelante, de las ocurrencias a las hipótesis convalidadas, sino también hacia atrás, de verdades "definitivas" a especulaciones sin fundamento. La conversión de una hipótesis parcialmente sustanciada en una hipótesis convalidada tiene una hermosa ilustración: el descubrimiento del planeta Neptuno. El problema inicial no consistía en contemplar el cielo en búsqueda de un nuevo objeto, sino en explicar la "anomalía" que presenta el movimiento aparente de Urano. Esa "anomalía" era simplemente una discrepancia entre los valores observados y los valores calculados de las posiciones de ese planeta. Puesto que los valores calculados eran ligeramente erróneos, las hipótesis empleadas en el cálculo tenían que tener algún defecto. Estas hipótesis eran principalmente las siguientes: el sistema solar es un objeto en lo esencial autodeterminado, a causa de la gran distancia que lo separa de los demás cuerpos celestes (h_1); Urano es el planeta más externo, por tanto, sólo el Sol y los demás planetas influyen en su movimiento (h_2); las leyes newtonianas del movimiento (h_3, una conjunción de hipótesis); y la ley gravitatoria de Newton (h_4). El problema de explicar la "anomalía" del movimiento de Urano consistía en descubrir el componente falso de la conjunción h_1 & h_2 & h_3 & h_4. Debido al gran éxito de las hipótesis generales h_3 y h_4 dentro y fuera del sistema solar, se hacían sospechosas las hipótesis h_1 y h_2, más específicas; de esas dos, h_1 no podía ser culpable en este caso: en efecto, si la "anomalía" se debiera a una influencia procedente de fuera del sistema solar, ¿por qué iba a presentarla sólo Urano entre todos los planetas? F. W. Bessel conjeturó que h_2 podía ser falsa, y propuso, aunque sin elaborarla, su negación $-h_2$, o sea, "Urano no es el planeta más externo", o su equivalente "Hay al menos un planeta más allá de Urano". No se trataba de una conjetura infundada, pues el descubrimiento de Urano mismo había sido precedido por la conjetura de la existencia de una "estrella errante"; además, h_2 no tenía más apoyo que la débil evidencia de observación. Dicho brevemente: $-h_2$ era una hipótesis plausible sin contrastar.

Algún tiempo después, J. C. Adams (1843) y U. J. Le Verrier (1846) elaboraron (teoréticamente), con independencia el uno del otro, la hipótesis plausible $-h_2$, para lo cual tuvieron que introducir varias hipótesis auxiliares, la principal de las cuales era que el nuevo planeta se movía en el plano de la eclíptica. Su problema consistía pues en hallar la órbita, la velocidad y la masa del nuevo planeta hipotético, de tal modo que el haz de hipótesis diera razón del movimiento "observado" de Urano. La única "evidencia" era en este caso la discrepancia entre los datos de observación y las predicciones hechas sobre la base de h_2: los datos mismos no imponían hipótesis alguna. Los cálculos hechos sobre la base de $-h_2$ y con la ayuda de la teoría matemática de las perturbaciones incluía una consecuencia contrastable, a saber, la dirección precisa en la cual habría que apuntar un telescopio una noche determinada para ver el hipotético planeta. Se eligió la noche del 23 al 24 de septiembre de 1846; el astrónomo J. Galle observó el lugar previsto y vio el nuevo planeta, al que se dio el nombre de Neptuno; pero cualquier otro astrónomo habría podido conseguir la misma confirmación de la predicción teorética. Con esto la hipótesis plausible $-h_2$, de débil fundamento y sin contrastar, pasó aquella noche a la categoría más alta: se convirtió en una hipótesis convalidada. Después se hallaron también anomalías en la órbita de Neptuno, se forjó la hipótesis de otro planeta más, Plutón, y por último se descubrió este planeta (1930). Pero en el momento de escribir estas páginas se discute seriamente la existencia de Plutón.

Obsérvese la naturaleza de la argumentación en los tres casos (Urano, Neptuno y Plutón). La argumentación no parte de observaciones positivas, sino de una discrepancia entre las previsiones teoréticas y los datos, discrepancia que sugiere que hay algún error al menos en uno de los supuestos (Si $P \vdash t$ y si la experiencia falsa t, entonces inferimos $-P$. Pero la lógica sola no nos dice qué miembro del conjunto de supuestos P es falso). Se examina críticamente el registro de datos de cada supuesto hasta descubrir el más probable causante y sustituirlo finalmente por una nueva hipótesis plausible. (Las ocurrencias arbitrarias, como la de que las anomalías son caprichos del planeta, o efectos psicocinéticos de un poderoso mago, no se toman siquiera en consideración.) Se consiguen consecuencias contrastables de la nueva hipótesis mediante los medios disponibles, y, si es necesario, mediante conjeturas y técnicas adicionales. Por último, se lleva a cabo un conjunto de observaciones para conseguir la contrastación. El conjunto del procedimiento es *hipotético-deductivo*, y ya la misma *búsqueda de más evidencia está sugerida por la hipótesis* misma, no al revés.

Escribamos, por último, unas pocas palabras cautas por lo que hace al concepto de *hipótesis rivales,* que se presenta en toda situación en la cual se trate de hipótesis. En primer lugar, las hipótesis rivales son recíprocamente *incompatibles,* no pueden afirmarse conjuntamente; pero 'incompatibilidad' no significa "contradictoriedad". En particular, si las hipótesis contienen conceptos cuantitativos, queda asegurada la posibilidad de una infinidad de hipótesis incompatibles y no contradictorias. Piénsese en el conjunto infinito de hipótesis supuesto por la fórmula "$y = x^n$", siendo el campo de n el conjunto de los enteros: "$y = x$", "$y = x^2$", "$y = x^3$", etc. 'Contradictorias' no se aplica más que a partes de fórmulas tales que una sea la negación lógica de la otra. Así, por ejemplo, la contradictoria de "$y = x^n$" es "$y \neq x^n$", y la contradictoria de "Todo A es B" es "No todo A es B", no "Ningún A es B" (o "Todo lo que es un A no es un B"), ni "Algunos A son B". Moraleja: no hay que derrochar la palabra 'contradictorio'.

En segundo lugar, hay y habrá siempre cierto número de hipótesis rivales para dar razón de un mismo conjunto de datos: pero no estarán todas necesariamente igual de autorizadas en su pretensión de verdad. Así, por ejemplo, si una hipótesis h da razón de la evidencia e, las hipótesis $h \& p$ y $h \& -p$, que son mutuamente incompatibles y en las cuales 'p' designa un supuesto cualquiera, recogerán también esa misma evidencia, puesto que ambas implican h, la cual a su vez implica e. Pero si no hay razón alguna para aceptar p en vez de $-p$, o al revés, entonces lo mejor que podemos hacer es olvidarnos de p: y no añadiremos p o $-p$ al cuadro más que si éstas pueden someterse a una contrastación *independientemente,* o sea, si p (o $-p$) implica nuevas consecuencias contrastables no implicadas por h sola. En general, salvo que sean todas infundadas, las hipótesis rivales que se disputan un área fáctica no estarán *igualmente* fundadas e *igualmente* contrastadas, por lo que no serán igualmente verosímiles.

Pero el tema de la contrastabilidad merece una sección propia.

Problemas

5.5.1. ¿Qué razones tenía Colón para suponer que encontraría tierra firme navegando hacia el Oeste? ¿Concordaba su conjetura con la opinión dominante? ¿Habría recibido ayuda financiera si no hubiera presentado ningún argumento en favor de su hipótesis? *Problema en lugar de ése*: Examinar las razones de Copérnico en favor de la hipótesis heliocéntrica.

5.5.2. Puede un biólogo creer en la inmortalidad del hombre? Cualquiera que sea la respuesta, ¿se basará sólo en información empírica? Sugerencia: pensar en los mecanismos de envejecimiento, tales como el daño de las moléculas de ADN y la apoptosis.

5.5.3. ¿Cuáles son las razones –si existen– para admitir las siguientes hipótesis? (*i*) Que todas las estrellas son esféricas o aproximadamente esféricas; (*ii*) que hay otras mentes además de la nuestra propia; (*iii*) que hay organismos extraterrestres.

5.5.4. Los especialistas en educación suelen afirmar que lo que determina esencialmente una buena enseñanza es el dominio de las técnicas didácticas (h_1); ésta es, al menos, la justificación teorética de la existencia de escuelas de pedagogía. En cambio, los profesores de ciencias tienden a creer que lo que determina esencialmente una buena enseñanza, por lo menos la de la ciencia, es una clara comprensión del tema y afición al mismo, así como el interés por los alumnos (h_2). Discutir las justificaciones teoréticas y empíricas –si las tienen– de esas hipótesis rivales. Y, si es posible, proceder en consecuencia. *Problema en lugar de ése*: La hipótesis de la continuidad del movimiento, que es un supuesto de la mecánica, resulta empíricamente incontrastable de modo directo. ¿Por qué se mantiene? Indicación: imagínese lo que nos impondría la tesis de la discontinuidad.

5.5.5. Para explicar la precesión del perihelio de Mercurio, que no quedaba explicada por la astronomía newtoniana, Le Verrier formuló la hipótesis de la existencia de un nuevo planeta, Vulcano, al que supuso inobservable desde la Tierra por encontrarse constantemente oculto por el Sol. ¿Qué le sugirió la invención de esa hipótesis? ¿Era esta hipótesis contrastable antes del desarrollo de la astronáutica? ¿Cómo se ha resuelto finalmente el problema?

5.5.6. Las siguientes hipótesis estaban lejos de poseer una buena fundamentación cuando fueron propuestas por vez primera: (*i*) que la materia está íntimamente constituida por átomos invisibles (los atomistas griegos e indios); (*ii*) que más de una estrella tiene que ser sol de un sistema planetario (G. Bruno, a fines del siglo XVI); (*iii*) que los enlaces químicos son básicamente eléctricos (J. Davy, 1807); (*iv*) que el hidrógeno es el elemento básico de todos los elementos químicos (J. Prout, 1815); (*v*) que el cerebro es una especie de pila eléctrica (J. Herschel, 1830). ¿Eran completamente inútiles? *Problema en lugar de ése*: ¿Resulta verdadera toda hipótesis plausible (bien fundada)? ¿Y es plausible toda hipótesis verdadera?

5.5.7. Clasificar las hipótesis supuestas en el siguiente resumen de recientes estudios sobre el hambre. En primer lugar, se ha hallado en el hombre una correlación sistemática entre la obesidad y ciertas lesiones del hipotálamo. Luego se hicieron experimentos con animales y quedó confirmada la correlación. Ésta se explica suponiendo que las lesiones eliminan ciertas inhibiciones. La hipótesis queda luego refutada experimentalmente, al observar que ratones que sufren dichas lesiones presionan la palanca que les suministra el alimento menos rápidamente que otros ratones normales. Por último, se intenta la hipótesis –convalidada en el momento de escribir esto– de que ciertas sustancias químicas, implantadas en determinados lugares del cerebro, estimulan el apetito.

5.5.8. Examinar las siguientes normas metacientíficas: (*i*) Las hipótesis científicas tienen que fundarse en principios de razón *a priori* (racionalismo tradicional). (*ii*) Las hipótesis científicas tienen que basarse exclusivamente en datos empíricos (empirismo tradicional).

5.5.9. Examinar la tesis según la cual las hipótesis científicas son injustificadas e injustificables, y la única razón para sostenerlas (temporalmente) es que superen severas contrastaciones empíri-

cas; pero los intentos de justificarlas llevan a círculos viciosos o a una regresión al infinito. Cf. K. R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*, 1935, Londres, Hutchinson, Nueva York, Basic Books, 1959, cap. x. *Problema en lugar de ése*: Estudiar ese planteamiento, que niega la justificabilidad, en el contexto de la filosofía; siguiendo la sugerencia de Popper lo elabora W. W. Bartley III en "Rationality versus the Theory of Rationality", en M. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, Nueva York, The Free Press, 1964.

5.5.10. Examinar la situación siguiente, presentada por N. Goodman, en *Fact, Fiction and Forecast*, Londres, Athlone Press, 1954, cap. III:

e = Todas las esmeraldas conocidas son verdes.

h_1 = Todas las esmeraldas son y serán siempre verdes.

h_2 = Todas las esmeraldas serán verdes hasta el año 2000, y entonces se volverán azules. (Abreviaremos: "todas las esmeraldas son G".)

Es claro que h_1 y h_2 son incompatibles: sin embargo, tienen la misma justificación empírica, el mismo apoyo inductivo. R. Carnap intentó hacer frente a esta dificultad estipulando que los predicados no-temporales deben preferirse a los temporales. Cuestiones: (*i*) ¿Es la anterior situación poco frecuente en la ciencia, o ejemplifica, por el contrario, la tesis metacientífica de que ningún conjunto de datos apunta inequívocamente a una hipótesis determinada? (*ii*) ¿A cuál de los cuatro niveles discutidos en el texto (véase fig. 4) pertenece h_2? (*iii*) ¿Qué base puede tener la estipulación de Carnap? (*iv*) ¿Cómo reaccionaría un científico ante h_2, o sea, ante la ocurrencia de "G" (verde antes del año 2000 y azul después)? (*v*) ¿Se inventan *ad libitum* los predicados en la ciencia? (*vi*) ¿Es legítimo eliminar los predicados que causan dificultades a los filósofos?

5.6. CONTRASTABILIDAD

Son incontrastables las fórmulas que no pueden someterse a contrastación y a las cuales, por tanto, no es posible atribuir un valor veritativo. Pero si no pueden estimarse, es que no tienen valor veritativo: no son ni verdaderas ni falsas. Dicho de otro modo: los valores veritativos no son inherentes a las fórmulas, sino que se les atribuyen mediante metaenunciados como "p es factualmente verdadera". Y no pueden hacerse atribuciones de verdad factual más que en base a contrastaciones empíricas. No conocemos, efectivamente, ningún otro método sino la experiencia para establecer por contrastación la verdad factual. Así pues, la contrastabilidad empírica es *un medio para averiguar valores veritativos factuales*, y no para obtener la verdad, pues las contrastaciones no dictan hipótesis, sino que los hechos proceden más bien a la inversa; además, una contrastación puede ser desfavorable o no concluyente. Un repaso de los expedientes que pueden usarse para eludir la contrastación empírica puede iluminar el concepto de contrastabilidad, el cual es a la vez enredado y central para la metodología de la ciencia.

El mejor procedimiento para eludir la contrastación empírica consiste en abstenerse de formular hipótesis, contentándose con contemplar nuestras preciosas experiencias privadas, sin intentar ni entenderlas, ni siquiera obrar, puesto que la explicación y la acción racional exigen hipótesis. Difícilmente nos equivocaremos si limitamos nuestro lenguaje a frases como 'Tengo en este momento una sensación de dureza'. Aún más: difícilmente sentiremos la necesidad de contrastar tales enunciados egocéntricos mediante otros enunciados de la misma clase, pues lo que necesita contrastación es el incierto salto más

allá de la experiencia inmediata. No se trata de que los juicios de experiencia inmediata estén sustraídos a toda posibilidad de error, sino de que –salvo en el caso del estudio psicológico de las ilusiones– raras veces vale la pena ponerlos a prueba.

Las llamadas *proposiciones de protocolo,* formuladas en un lenguaje fenomenalista –como 'Veo en este momento una mancha roja'– se suponen a veces no rectificables, con lo que esas ideales piedras angulares de la ciencia se presentan como conocimiento cierto (no corregible). Pero el hecho es que los enunciados fenomenalistas son corregibles en principio e inútiles para la construcción de la ciencia. En efecto: si se los juzga a la luz de proposiciones de objeto físico, es posible mostrar a veces el error de juicios de percepción: podemos corregir y corregimos en la práctica y afinamos enunciados fenomenalistas con la ayuda de instrumentos y razonamientos científicos que utilizan hipótesis relativas a objetos físicos: así ocurre, por ejemplo, cuando decimos que los rayos que vemos en las estrellas no se encuentran en ellas, sino que se producen en el medio refringente (atmósfera, telescopio, ojo). En resolución, los juicios de percepción, aunque no pueden corregirse mediante juicios *de esa misma clase* (referidos al mismo órgano de los sentidos), pueden corregirse mediante juicios de un nivel superior. En segundo lugar, los enunciados fenomenalistas no son expresiones perfectas, sin distorsión, de pura experiencia preconceptual y sin prejuicio, pues la misma experiencia humana no está nunca completamente libre de la influencia de las expectativas y de las opiniones: en alguna medida, vemos lo que estamos dispuestos a ver, y dejamos de ver lo que no esperamos ver. Además, la expresión de experiencias tiene naturalmente lugar en el lenguaje, y ningún lenguaje propiamente dicho puede evitar el manejo de palabras universales, como 'sentir' (o 'tener la sensación de') y 'rojo'. En tercer lugar, partiendo de meras proposiciones de protocolo no puede inferirse nada que tenga interés científico, como nó se recurra a la ayuda de alguna teoría. Cuando alguien pretende "inferir una conclusión" partiendo exclusivamente de un conjunto de juicios de percepción, lo único que puede afirmar correctamente es que esos juicios le empujan (psicológicamente hablando) hacia alguna hipótesis; pero individuos diferentes, que tengan cada uno su propia formación previa, pueden "inferir" muy distintas "conclusiones" de unas mismas experiencias. En cuarto lugar, no pueden utilizarse enunciados fenomenalistas en bruto como evidencia en favor o en contra de hipótesis: esos enunciados tienen antes que interpretarse, esto es, tienen que transformarse en enunciados objetivos formulados en el mismo lenguaje de objeto físico que la hipótesis. O sea: tal como se presentan fenomenalísticamente, esos enunciados no son ni sustitutivos de las hipótesis científicas ni siquiera evidencia relevante para ellas.

Sin duda admitiremos que las proposiciones fenomenalistas son las menos inciertas entre todas las proposiciones empíricas, precisamente por ser las que menos comprometen. Pero no quedan a cubierto de toda crítica, ni, cosa más importante, forman parte de la ciencia, precisamente porque quedan limitadas al sujeto, mientras que la ciencia aspira a objetividad (cf. sec. 1.1). Las proposiciones fenomenalistas salen, desde este punto de vista, peor paradas incluso que el conocimiento ordinario, el cual se expresa principalmente en enunciados del tipo del lenguaje de objeto físico: por regla general no decimos 'Veo una mancha marrón de la forma de una mesa', sino 'Aquí hay una mesa marrón', o bien un análogo enunciado centrado en algún objeto. La pretensión de que los objetos físicos son inferidos, o incluso de que son nociones metafísicas, y de que sólo el objeto

fenoménico –o sea, la mesa percibida, no la mesa física– está directamente dado, es una tesis discutida por la física, la psicología y la antropología. En realidad, mientras que cada vez es más posible analizar sensaciones sobre la base de procesos físicos, la reducción inversa es imposible. Por eso los niños, los primitivos y los adultos que no sufren de sofisticación filosófica no son fenomenistas ni hablan como tales: sólo ciertos filósofos, en su búsqueda de certeza, inventan objetos puramente fenoménicos y lenguajes fenomenalistas. En cualquier caso, el atenernos a la experiencia inmediata –de ser ello posible– no nos liberaría tampoco de los demonios fisicalistas, pues los juicios de objeto físico se piensan espontáneamente a propósito de fenómenos, mientras que las proposiciones fenomenalistas suelen más bien inferirse de esos juicios espontáneos. Pero ni siquiera en el caso de que fueran eficaces los ritos de purificación fenomenista se interesaría la ciencia por ellos, porque la investigación científica es el arriesgado intento de saltar más allá de la apariencia, a los hechos objetivos, y esto le obliga a inventar hipótesis. La ciencia no se interesa por la apariencia sino en la medida en que ésta es una ambigua pista de la realidad.

Otro expediente para eludir la contrastación empírica consiste en maximizar la *vaguedad.* Ciertas frases restrictivas como 'en determinadas circunstancias', 'en condiciones favorables' y '*mutatis mutandis*' pueden producir fáciles verdades, o sea, verdades tan insensibles a los detalles empíricos que llegan a parecerse mucho a las verdades lógicas. Así, por ejemplo, difícilmente pondrá en duda un psicólogo moderno que "La condición del sistema nervioso en un determinado momento determina el comportamiento en un momento posterior". Pero esa proposición es tan vaga que casi resulta incontrastable, y la incontrastabilidad es un precio demasiado elevado para comprar con ella la certeza. En realidad, si la condición, el comportamiento y la relación entre una y otro no se especifican, cualquier ejemplo de comportamiento servirá como evidencia confirmadora de esa hipótesis, puesto que, cualquiera que sea su naturaleza, todo acontecimiento comportamentístico estará sin duda precedido por *algún* estado del sistema nervioso; sólo si se formula la hipótesis de una *precisa* relación entre los estados neurales y los de comportamiento conseguiremos una hipótesis plenamente contrastable. En general, las relaciones funcionales indeterminadas –o sea, las funciones no especificadas, de tal modo que no pueda inferirse una variable de las demás– son incontrastables. Una expresión como "*y depende de x*", o sea "$y = f(x)$", no es una proposición, sino una función proposicional, si no se especifican (interpretan) más que las variables y se deja sin determinar la función f. Es obvio que no podemos someter a contrastación algo que no ha sido siquiera formulado. En este caso no nos encontramos propiamente con una hipótesis, sino con una *hipótesis de relación*, una hipótesis de trabajo o de programática que es como un hueco a rellenar mediante la investigación. A veces adoptamos fórmulas vagas, por ignorancia o porque deseamos que sean lábiles, del mismo modo que el legislador adopta frecuentemente expresiones vagas con el fin de dejar los detalles en manos del juez. Pero antes de intentar tales supuestos, tenemos que precisarlos: tal como se presentan, evitan demasiadamente todo compromiso, y las contrastaciones empíricas lo que buscan es precisamente obligarnos a comprometernos.

Pero el modo más difundido y cándido –o perverso, según los casos– de eludir la contrastación empírica y conseguir certeza es formular hipótesis sobre objetos *inescrutables*. El diablillo o el espíritu maligno de Descartes, "sumamente poderoso e inteligente y que

hace todo lo que puede por engañar" al filósofo, sin permitirle darse cuenta de que le está engañando, es un objeto inescrutable de este tipo. Pues haga lo que haga Descartes, no podrá nunca detectar la presencia de ese espíritu maligno: localizarle supondría haber eludido su vigilancia, lo cual queda excluido *ex hypothesi.* Así también es insensible a toda evidencia la hipótesis de la existencia del alma: ni siquiera la decapitación de una persona, con el cese del sentir y el pensar en ésta, falseará esa hipótesis, pues no podrá argüir que todo lo que ha ocurrido con la decapitación es que el alma ha perdido su canal normal de comunicación con el mundo material. Si rechazamos la hipótesis de la existencia del alma, no es porque haya sido brillantemente *refutada* por experimentos modernos, sino más bien porque ningún experimento imaginable puede rectificarla ni siquiera ligeramente. Otro distinguido miembro de la clase de las hipótesis evasivas es el siguiente: "Todo lo que hace un organismo se debe a que algún instinto le mueve a comportarse de ese modo." Cuando una madre protege a su hijo, se trae a colación el instinto maternal, y cuando un hombre ataca a otro se involucra el instinto de agresión. Y si una madre no protege a su hijo o si un hombre no ataca a nadie, entonces se nos explica que el instinto es débil, o está latente, o reprimido, o dominado por un instinto más fuerte, como el de conservación. De ese modo se consigue que todo dato imaginable aparezca como evidencia en favor de la hipótesis. y no podemos rechazar esas conjeturas tildándolas de falsas, sino porque la experiencia es irrelevante para ellas y, por tanto, no podemos atribuirles ningún valor veritativo. Y como lo que deseamos es conseguir la verdad, aunque sea parcialmente, no podemos considerar esas fórmulas evasivas como candidatas al título de hipótesis científicas.

Otro expediente, más refinado, para eludir la contrastación empírica, sin dejar de hablar al mismo tiempo muy sinceramente de la experiencia consiste en presentar conjeturas que, cada una por sí misma, pueden ser contrastables o no serlo, pero que, en todo caso, se salvan de cualquier refutación mediante supuestos *ad hoc.* Con objeto de levantar ese muro protector de la conjetura básica, la protectora no tiene que ser *independientemente contrastable.* Supongamos que deseamos salvar la dinámica aristotélica haciéndola coherente con el principio de inercia, según el cual, a falta de fuerzas externas, un cuerpo permanece en reposo o en movimiento con velocidad constante. Puede fácilmente conseguirse un parche de este tipo añadiendo la hipótesis *ad hoc* de que todo cuerpo está sometido a una fuerza interna constante, independiente de la constitución y la estructura del mismo y, por tanto, inescrutable. Con este añadido, la ley básica de la dinámica aristotélica se convierte en lo siguiente: "La fuerza total (interna más externa) es proporcional a la velocidad". Y en ausencia de fuerzas externas, nos queda: "La fuerza interna es proporcional a la velocidad"; y como esta fuerza interna es constante por hipótesis, la velocidad también es constante, lo cual concuerda con la ley de inercia. Luego se explica el caso del reposo como un equilibrio entre la fuerza interna del cuerpo y las fuerzas internas del medio. Mas la teoría así salvada con ese parche resulta incoherente con otros hechos no tenidos en cuenta al proponer la hipótesis *ad hoc.* Así, para la caída libre en el vacío tendríamos que sumar la fuerza interna al peso constante del cuerpo, y hallaríamos una velocidad constante, en contradicción con el experimento. Como todas las conjeturas de este tipo, nuestra hipótesis *ad hoc* no es coherente con la *totalidad de la evidencia*: lo cual era inevitable, puesto que se introdujo sólo para salvar la *ley* básica aristotélica de una sola de

sus consecuencias desfavorables. Pocas hipótesis *ad hoc* son expedientes de uso universal, como la hipótesis *ad hoc* freudiana de la represión (cf. sec. 1.6).

*No siempre es fácil determinar la contrastabilidad empírica: a veces una hipótesis científica se considera (erróneamente) empíricamente contrastable (o incontrastable). Un caso famoso de este tipo es el llamado principio de exclusión por competencia, en ecología, el cual puede formularse así: "Competidores completos no coexisten mucho tiempo". El principio significa que si dos poblaciones de especies diferentes tienen las mismas exigencias ecológicas y ocupan el mismo territorio, una de ellas acabará por extinguirse. Se admitió que el principio, aunque verdadero, era insensible a la experiencia, porque si dos especies en competencia completa coexisten a pesar de ello, siempre podemos salvar el principio admitiendo que hay en su ecología alguna diferencia pequeña y aún por registrar, pero que se descubrirá un día. Pasando por alto las confusas alusiones a un enunciado verdadero y al mismo tiempo supuesto incontrastable, esa objeción es correcta. Pero no ejemplifica sino una dificultad común a todas las hipótesis científicas: la suposición de una identidad exacta, si se refiere a objetos concretos, no puede ser sino aproximadamente verdadera (cf. sec. 6.1). En realidad, podemos estar seguros de que no habrá dos especies que tengan exactamente la misma ecología, de modo que ya por anticipado sabemos que el principio ecológico de exclusión no puede ser rigurosamente verdadero. Lo que hay que hacer no es rechazar el principio, sino darle una forma más realista, relajando la cláusula y no exigiendo más que una ecología análoga en las especies competidoras: dicho brevemente, formulándolo para competidores *casi* completos. En esta forma el principio es: "Para *todo* x y para *todo* y, *si* x e y *son competidores casi completos*, entonces x se extingue o y se extingue". Para someter esa hipótesis a contrastación reunimos dos poblaciones de exigencias ecológicas muy parecidas y observamos su desarrollo. Esto quiere decir que afirmamos a título de ensayo la hipótesis: afirmamos firmemente su antecedente y ponemos a prueba su consecuente. Al cabo de un tiempo recogemos datos acerca del consecuente (o sea, la extinción de una especie) e inferimos el valor veritativo de la hipótesis. Si averiguamos que una de las poblaciones se ha extinguido o casi extinguido, inferimos que el principio ha quedado *confirmado en este caso*. Si descubrimos, en cambio, que las dos especies coexisten, inferimos que la hipótesis ha sido *refutada* en este caso, y, por tanto, refutada como hipótesis universal. En este último caso podemos intentar salvar la hipótesis suponiendo que el periodo de observación ha sido insuficiente para permitir que se manifestaran las ventajas de una especie respecto de la otra. De este modo puede retrasarse por algún tiempo la decisión desfavorable, pero el crítico tiene siempre derecho a pedir que el principio se reformule entonces de un modo más preciso, con una referencia al periodo de extinción supuesto para una de las poblaciones, o a la intensidad de la concurrencia en que se encuentren las dos especies. Desde este punto de vista la vaga formulación del principio ecológico de exclusión no difiere de la de cualquier otra hipótesis laxamente presentada. En conclusión, el principio *es débilmente contrastable,* pero no insusceptible de contrastación. Moraleja: habría que introducir un concepto comparativo de contrastabilidad.*

'Empíricamente contrastable' significa sensible a la experiencia. Ahora bien: una hipótesis sensible a datos empíricos puede verse apoyada (confirmada) o minada (desconfirmada) por ellos. Las hipótesis contrastables pueden por tanto ser (*i*) puramente *confir-*

mables, (*ii*) puramente *refutables* o (*iii*) *confirmables y refutables*. Las hipótesis puramente confirmables son las menos contrastables, pero podemos someterlas a prueba si tienen algún fundamento. Si no nos interesa en absoluto la confirmabilidad –esto es, si somos refutabilistas extremos– perderemos la oportunidad de aplicar nuestras hipótesis a casos particulares y observar cómo se comportan. Por otra parte, de seguir esa corriente refutabilista extrema no podríamos tampoco interesarnos por la verdad factual, puesto que ésta se contrasta en parte por la *concordancia* con los hechos, o sea, por confirmación. Aún más: tendríamos que aceptar como científica una conjetura estúpida como aquella de Himmler según la cual las estrellas son de hielo; pues una conjetura así no puede ser sino refutada. Consiguientemente, convendremos en (*i*) que la confirmabilidad es *necesaria y suficiente* para la contrastabilidad empírica, y (*ii*) que la refutabilidad no es necesaria ni suficiente para la contrastabilidad empírica, pero sí necesaria para la contrastabilidad *óptima*, propia de hipótesis que pueden ser confirmadas y refutadas, o sea, de hipótesis para las cuales puede concebirse, basándose en el conocimiento previo, una evidencia favorable y una evidencia desfavorable. Y recordaremos al mismo tiempo que la contrastabilidad sola, sin fundamento o convalidación teorética, es insuficiente para considerar científica una hipótesis (cf. la sec. anterior).

Si rechazáramos todas las hipótesis puramente confirmables (irrefutables), mutilaríamos a la ciencia, arrebatándole amplios sectores en los cuales desempeñan un papel de importancia hipótesis existenciales indeterminadas ("Hay algún *A*") e hipótesis probabilitarias ("La probabilidad de que un *A* sea *B* es igual a *p*"). Examinemos esos dos tipos de hipótesis. "Hay alguna señal más rápida que la luz" es una *hipótesis existencial indeterminada*. Sólo puede confirmarse: el hecho de que no se detecte ni produzca nunca una tal señal no refutará concluyentemente la posibilidad de descubrirla o producirla en el futuro, del mismo modo que los lamentables fracasos de la divisa de 1789 *Liberté, égalité, fraternité* no destruyen la hipótesis programática de que sea posible construir una sociedad humana sobre la base de la libertad, la igualdad y la fraternidad. Sólo argumentaciones teoréticas muy sólidas pueden decidir (temporalmente) acerca de tales hipótesis. Negar la existencia de señales más rápidas que la luz por el mero hecho de que no se ha hallado hasta ahora evidencia en su favor o porque ninguna teoría conocida las prevé sería simple dogmatismo. *Suele creerse que las teorías relativistas prohíben la existencia de señales más veloces que la luz, pero esa creencia es errónea: esas teorías dicen a este respecto que los *cuerpos* no pueden alcanzar la velocidad de las ondas electromagnéticas. Pero eso no niega ni puede negar la existencia de otras clases de campos con diferente velocidad de propagación.* También sería dogmático afirmar aquella hipótesis, pues, en última instancia, su único apoyo –bastante débil– es la hipótesis ontológica de la variedad ilimitada de la naturaleza, junto con el precepto epistemológico de no tomar las fronteras del conocimiento humano por límites de la naturaleza. No podemos afirmar aquella hipótesis más que por vía de ensayo, y sólo si disponemos de alguna indicación de que su estudio va a valer la pena.

Es indiscutible el valor *heurístico* de muchas de esas hipótesis irrefutables y confirmables. Piénsese, por ejemplo, en las hipótesis "Hay transuranios", "Hay antiprotones", "Hay neutrinos", todas ellas exclusivamente confirmables y sumamente fecundas. Además, ninguna investigación histórica sería posible sin hipótesis de este tipo. Considere-

mos, por ejemplo, el caso del paleontólogo que, sobre la base de su conocimiento de una especie viviente y de su extinguido antepasado, formula la hipótesis de la existencia de una forma intermedia. Su único fundamento es hasta este punto la hipótesis básica de la cuasi-continuidad de las líneas de descendencia biológicas. El que no se encuentre evidencia, ni viva ni fósil, en favor de su hipótesis del eslabón perdido no contará gran cosa contra ella. De hecho el paleontólogo protegerá su fundada conjetura con la hipótesis *ad hoc* (pero contrastable en principio) de que ningún resto del eslabón intermedio puede haber llegado a nosotros, ya porque no se dieran las condiciones de fosilización, ya porque haya destruido toda evidencia algún proceso físico, como un cataclismo geológico. Sólo el efectivo descubrimiento de un ejemplar parecido a la reconstrucción imaginaria acentuará la hipótesis –o, por mejor decir, una versión refinada de la misma–; pero mientras no se cuente con ese descubrimiento, habrá que acoger la hipótesis para salvar un importante cuerpo de conocimiento. Si no se hubiera seguido en esta línea de conducta, habría habido que rechazar la hipótesis darwiniana de la ascendencia del hombre y, por tanto, esa hipótesis no habría orientado la investigación de campo que llevó finalmente a su propia confirmación. Análogamente, el *detective* se dará razón de algunos de sus fracasos con la hipótesis "Hay crímenes que no dejan huellas perceptibles", y el epistemólogo postulará "La mayoría de los acontecimientos no son observados". Hay buenos motivos para considerar verdaderas muchas hipótesis de este tipo, y, por tanto también para aceptarlas; pero, en todo caso, no existe procedimiento para refutarlas.

También las *hipótesis probabilistas* son confirmables e irrefutables, o, a lo sumo, débilmente refutabes. Consideremos la hipótesis: "La probabilidad de sacar un as con un dado cualquiera sin trampa es de 1/6". Se trata de una conjetura fundada, más que de una mera generalización empírica a partir de la observación de pasadas experiencias. El hecho es que el estudio dinámico del dado muestra que todas sus caras tienen la misma probabilidad de salir. El problema consiste pues en preguntar a la experiencia si es efectivamente verdadera la hipótesis fundada "$P(as) = 1/6$". Antes de someter la hipótesis a contrastación tenemos que formularla con términos empíricos, porque la probabilidad es tan inobservable con la honestidad: sustituimos "probabilidad" por "frecuencia relativa a largo plazo", y "sin trampa" u "honestamente" por "equilibrado". Pedimos además que el lanzamiento del dado sea casual, no orientado. Con estas transformaciones nuestra inicial hipótesis probabilista se ha convertido en la siguiente conjetura, que es estadística y física: "La frecuencia relativa a largo plazo del acontecimiento 'as' en una secuencia de lanzamientos al azar de un dado equilibrado es próxima a 1/6". Supongamos ahora que lanzamos el dado 60 veces y que sólo observamos la salida de un as, en vez de las 10 salidas de ese as aparentemente previstas por nuestra hipótesis. ¿Rechazaremos ésta? En modo alguno: sabemos que la ausencia de datos favorables no es una refutación fuerte en el caso de hipótesis estadísticas. Lo que probablemente haremos es asegurarnos de que han quedado satisfechas las condiciones de equilibrio del dado y de lanzamiento al azar; si nuestro examen no descubre defecto alguno desde esos puntos de vista, concluiremos que hemos contemplado una serie poco probable, aunque posible, de acontecimientos desafortunados. Sabemos que a corto plazo pueden ocurrir anomalías como ésa, y que las leyes estadísticas no valen más que a plazo largo. Por tanto, probamos de nuevo con una secuencia más larga, de 600 lanzamientos, por ejemplo. Y si la frecuencia observada sigue

siendo muy diferente de la prevista, podemos seguir aferrándonos a nuestra hipótesis, puesto que la sabemos muy bien *confirmada* por pasadas experiencias, y pedir una secuencia aún más larga. Pero por larga que sea la secuencia de lanzamientos, sigue subsistiendo la posibilidad de amplias fluctuaciones respecto de la probabilidad; por otra parte, si se eliminan esas fluctuaciones respecto del valor medio y obtenemos una secuencia perfectamente ajustada, es que no estamos ya ante un fenómeno de azar. Pero podemos por lo menos estar seguros de que la probabilidad de una gran desviación respecto de la frecuencia relativa media disminuirá uniformemente con el aumento de longitud de la secuencia; esto puede demostrarse teoréticamente y confirmarse por la observación (traduciendo primero este enunciado de probabilidad de segundo grado por la correspondiente frecuencia relativa de la discrepancia). Esto es lo más parecido a la certeza que podemos conseguir. Concluimos que las hipótesis estadísticas son difíciles de falsear empíricamente, pero no son insusceptibles de contrastación. (La débil contrastabilidad de las hipótesis estadísticas es una buena razón para pedir que se enlacen con otras hipótesis más fácilmente contrastables. Dicho de otro modo: como es imposible someter a contrastaciones empíricas duras ninguna hipótesis irreductiblemente estadística, es deseable relacionar toda hipótesis de este tipo con otras mas estrictas, tal vez referentes a acontecimientos de nivel inferior o superior. Esta consideración metodológica hace sospechoso al indeterminismo irreductible.)

Lo que hemos visto muestra por qué consideramos que la confirmabilidad es necesaria y suficiente para la contrastabilidad. Pero si una hipótesis es irrefutable o casi irrefutable, consideraremos que tiene una *contrastabilidad más débil* que la de las hipótesis que son refutables además de confirmables. Además, intentaremos *compensar* esa débil contrastabilidad mediante una fundamentación robusta. Por ejemplo, si la hipótesis es estadística, suministraremos un fundamento de la misma construyendo un modelo teorético. Sólo consideraremos exclusivamente propias de la especulación o de la pseudociencia las conjeturas que sean irrefutables e infundadas.

Por otra parte, no exigiremos que toda hipótesis sea *directamente* contrastable: esta exigencia, presentada por el empirismo, haría imposible la teoría científica. Efectivamente, una teoría científica, lejos de ser un acúmulo de enunciados empíricos, es un sistema de varios niveles, cuyas fórmulas más altas no son directamente comparables con informes empíricos. Además, algunas teorías físicas perfectamente respetables contienen fórmulas de nivel intermedio (teoremas) que son empíricamente incontrastables, como es el caso de las fórmulas de la mecánica cuántica que se refieren al movimiento de una partícula en una caja cerrada. Aceptamos esas teorías, que tan manifiestamente violan el requisito de contrastabilidad completa, porque dan de sí consecuencias verdaderas. Por eso adoptamos un punto de vista realista y exigimos de toda fórmula teorética o bien (*i*) que implique fórmulas directamente contrastables, o bien (*ii*) (que *sea implicada* por fórmulas con consecuencias contrastables. Cuando una fórmula no es directamente contrastable ni tiene consecuencias empíricamente contrastables, pero es al mismo tiempo teorema de una teoría contrastable por otras vías, podemos admitir que esa fórmula es *indirectamente contrastable*: toda evidencia relevante para los supuestos que implican la fórmula considerada puede considerarse como una *evidencia* indirecta relevante para la fórmula en cuestión. (Cf. fig. 5.5.)

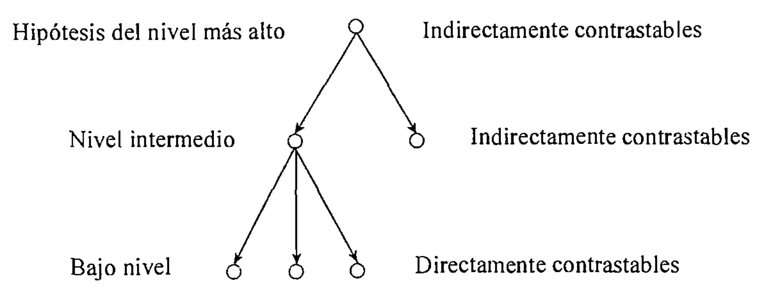


FIGURA 5.5. El teorema situado en la rama de la derecha de ese árbol deductivo no implica ninguna consecuencia empíricamente contrastable: no puede ser apoyado ni destruido más que desde arriba.

Por último, no exigiremos la contrastabilidad de toda fórmula que se presente en la ciencia porque algunas fórmulas, aunque fecundas, no pueden ser ni siquiera falsas. Tales son, además de las reglas de inferencia, las fórmulas de las clases siguientes: (*i*) *reglas* de método, (*ii*) *convenciones*, como las referentes a las unidades utilizadas, y (*iii*) *criterios* para estimar porciones de la ciencia, o sea, criterios de contrastabilidad. Ninguna de las fórmulas de esos tres tipos puede ser sometida a contrastación para averiguar su valor veritativo, aunque todas ellas deben someterse a contrastación desde el punto de vista de su conveniencia o fecundidad. Así, por ejemplo, se condena por estéril una regla de método que no lleve al resultado deseado, y también resulta indeseable una regla de método cuya fecundidad no pueda ponerse a prueba. Podemos exigir la contrastabilidad de toda pieza de la ciencia con la condición de ampliar el concepto de contrastabilidad hasta incluir en él la *contrastabilidad pragmática* de una fórmula, o sea, la posibilidad de mostrar que la fórmula es –o no es– conveniente o fecunda.

En resolución: establecemos un criterio amplio de contrastabilidad, según el cual toda hipótesis (no toda fórmula) tiene que ser por lo menos confirmable –y, a poder ser, también refutable– directa o indirectamente.

Ahora podemos ya resumir todos los requisitos que hemos ido imponiendo a las hipótesis científicas.

Problemas

5.6.1. Examinar la hipótesis singular: "Nevó en la Isla de Manhattan el día 1 de enero del año 1 d. J. C.", discutida por B. Russell en su obra *An Inquiry into Meaning and Truth*, Londres, Allen and Unwin, 1940, pp. 277ss. ¿Es esa hipótesis significativa, empíricamente contrastable, fundada y/o verosímil? ¿Sería posible modificarla para hacerla más verosímil?

5.6.2. Examinar la contrastabilidad de las ideas siguientes: (*i*) "Todo lo que ocurre es designio de la Providencia." (*ii*) "Las desgracias son castigos de los pecados o prueba de la fe." (*iii*) "Todo lo que ocurre es históricamente necesario." (*iv*) "Cuando una época necesita un gran hombre lo encuentra." (*v*) "Los pájaros pueden aprender a seguir los movimientos de casi todo objeto adecuado" (leído en un estudio sobre comportamiento animal).

5.6.3. Examinar las siguientes conjeturas desde el punto de vista de su contrastabilidad.

(*i*) "La causa del cambio social es cierto proceso económico." (*ii*) "Las ideas de una época dependen del modo de producción que predomina en la misma." (*iii*) "Todas las especies animales son modificaciones de un tipo original (Urtier), modelo morfológico eterno copiado con mayor o menor éxito por las varias especies reales" (Goethe).

5.6.4. C. G. Jung afirmó que las personas aparentemente extravertidas son íntimamente intravertidas, y viceversa, o sea, que la gente que se comporta como si fuera extravertida es inconscientemente intravertida, y viceversa. Examinar la contrastabilidad de esta conjetura.

5.6.5. Examinar la contrastabilidad de las siguientes hipótesis psicoanalíticas. (*i*) "Los niños consiguen placer sexual realizando sus funciones excretoras." (*ii*) "Todos los varones tienen un complejo de Edipo, en forma manifiesta o reprimida." (*iii*) "Los críticos del psicoanálisis ilustran la hipótesis psicoanalítica del instinto agresivo y la de los mecanismos de defensa (protección inconsciente de algo que el sujeto desea ocultar)." *Problema en lugar de ése*: Estúdiese la contrastabilidad de la hipótesis de que el espíritu, aunque inmaterial, interactúa con el cuerpo. Véase M. Bunge, *El problema mente-cerebro*, Madrid, Tecnos, 1985.

5.6.6. ¿Cuántos datos son necesarios y suficientes para establecer y para refutar las piezas siguientes? (*i*) Una hipótesis singular. (*ii*) Una hipótesis existencial. (*iii*) Una hipótesis universal restringida. (*iv*) Una hipótesis universal no restringida. *Problema en lugar de ése*: Si una hipótesis es totalmente irrefutable, no es científica. ¿Vale la afirmación inversa, o sea, es verdad que si una hipótesis es refutable es científica?

5.6.7. Los sostenedores de la interpretación subjetivista (o bayesiana) de la probabilidad como medida del grado de creencia personal (y de nada más) afirman que las creencias (ya sean de conocimiento ordinario, ya de conocimiento científico) son insensibles a los hechos. De ello infieren (correctamente) que todo enunciado de probabilidad, como la estimación de la probabilidad de un acontecimiento, es subjetivo e insusceptible de prueba o refutación por la experiencia, o sea, dicho brevemente, insusceptible de contrastación. ¿Llevan razón? Si tal es el caso, ¿hay que eliminar de la ciencia la teoría de la probabilidad o hay que abandonar la exigencia de contrastabilidad?

5.6.8. Examinar las diferencias entre hipótesis que aspiran a representar un aspecto de la realidad y las *ficciones* que sirven como auxiliares. Según el kantismo, las primeras deben ser contrastables, y las segundas, útiles. Cf. H. Vaihinger, *Die Philosophie des Als Ob*, 4 a. ed., Leipzig, Meiner, 1920, cap. XII, y M. Bunge, *Metascientific Queries*, Springfield, Ill; Charles C. Thomas, 1959, cap. 10. Cf. también el problema adicional 8.2.10. *Problema en lugar de ése*: Estudiar la relación entre conceptos inescrutables y supuestos incontrastables.

5.6.9. Discutir la contrastabilidad de las siguientes hipótesis: (*i*) "Hay al menos dos cosas exactamente idénticas en el mundo." (*ii*) "Hay cosas que no pueden entrar en interacción con ninguna otra." (*iii*) "Hay campos que no pueden detectarse con medios físicos y que transmiten ideas." (*iv*) "El espacio físico está contenido en un espacio de mayor dimensionalidad, pero esas otras dimensiones no se manifiestan." (*v*) "El universo es espacialmente infinito." (*vi*) "El universo es espacialmente finito." (*vii*) "El universo fue creado hace varios billones de años." (*viii*) "Hay infinitos niveles por debajo del nivel de las partículas elementales hoy conocidas." (*ix*) "Todos los organismos, incluidas las plantas, pueden sentir dolor." (*x*) "Un sistema nervioso central completo mantenido vivo en un laboratorio podría sentir y pensar aunque se encontrara privado de los órganos mediante los cuales manifiesta normalmente su funcionamiento."

5.6.10. Examinar la doctrina según la cual el reconocimiento de las propiedades fenoménicas (qualia) es incontrovertible, y, por esa razón, los qualia deben tomarse como las unidades básicas para la sistematización de la experiencia. La realización más completa e impresionante de este programa anti-democríteo es la obra de N. Goodman *The Structure of Appearance*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1951. Por lo que hace a la incontrastabilidad del reconocimien-

to del quale, cf. pp. 99ss.; sobre reducción de todo objeto individual a sumas de uno o más qualia, cf. pp. 175ss. Y para comprobar la inviabilidad de ese programa véase cualquier tratado de física o química. *Problema en lugar de ése*: Dilucidar los conceptos de *apoyo posible* y *falsador posible* de una hipótesis, y construir con su ayuda el concepto de grado de contrastabilidad de una hipótesis respecto de un procedimiento empírico y a la luz de un conjunto de teorías. Tener en cuenta que, en el caso de las hipótesis científicas, sus apoyos y sus falsadores pueden no tener los mismos referentes, o sea, que pueden ser algo más que meros ejemplos o contraejemplos; así, toda evidencia relevante para una microhipótesis es un enunciado referente a algún macrohecho.

5.7. REQUISITOS

Mucho antes de que una conjetura reciba el título de Hipótesis Verdadera –título que en algún caso puede durar menos que el de Campeón del Mundo– tiene que mostrar que es una conjetura científica. A través de una serie de pruebas preliminares de carácter no empírico, la hipótesis tiene que mostrar consistencia lógica, compatibilidad con el cuerpo del conocimiento científico y capacidad de ser sometida a la experiencia. En la sec. 5.2 dijimos que ése es el orden correcto que deben seguir las operaciones de contrastación. En esta sección vamos a justificarlo.

La consistencia lógica incluye ciertos caracteres sintácticos y semánticos que tienen que averiguarse antes de tomar en consideración contrastaciones empíricas. Ante todo, la *fuerza lógica,* concepto sintáctico que puede introducirse mediante la *Definición*: "Una fórmula A es *lógicamente más fuerte* que una fórmula B si y sólo si A implica B". Simbólicamente: $[F(A) \geq F(B)] =_{df} A \vdash B$. Así, por ejemplo, p es más fuerte que $p \vee q$ porque, dado p, por el principio de adición podemos añadirle en disyunción un q cualquiera. Por esta misma razón $x = y$ es más fuerte que $x \geq y$ –o sea, que $x = y$ o $x > y$–, porque $(x = y) \vdash (x = y \vee (x > y)$. Y p & q es más fuerte que p o que q, porque una conjunción implica sus componentes. Por la misma razón $(x)P(x)$ es más fuerte que $P(c)$. Y, por el principio de adición, $P(c)$ es a su vez más fuerte que $(\exists x)P(x)$ –lo cual puede ponernos en guardia contra la tentación de identificar la fuerza con la generalidad.

Todo axioma es lógicamente más fuerte que los teoremas derivados de él. Y si A y B son recíprocamente deducibles, son de igual fuerza. Las fórmulas lógicamente válidas, o sea, las fórmulas analíticas, son las más débiles, porque se siguen de cualquier fórmula, incluido el conjunto vacío de fórmulas. Las tautologías tienen pues la fuerza mínima. En cambio, las fórmulas lógicamente falsas (contradicciones) tienen la fuerza máxima, porque de ellas se sigue cualquier cosa. (Simbólicamente: $\varnothing \vdash L$ y $-L \vdash U$; '$\varnothing$' designa el conjunto vacío, 'U' el conjunto de todas las fórmulas y 'L' el conjunto de las verdades lógicas.)

En lógica intentamos establecer fórmulas máximamente débiles, o sea, tales que se sigan de cero premisas y se convaliden por tanto a sí mismas. En la matemática preferimos en cambio las suposiciones más fuertes compatibles con la lógica, o sea, las afirmaciones que den de sí el conjunto más rico posible de teoremas recíprocamente coherentes. (Podría decirse que esta diferencia en cuanto a la fuerza es la diferencia principal entre la lógica y la matemática.) Por último, en la ciencia factual, al igual que en la matemáti-

ca, seguimos una vía intermedia entre la debilidad máxima de la verdad lógica y la fuerza máxima de la contradicción.

La fuerza lógica es una fuente de precisión o falta de vaguedad, así como de contenido informativo. Esa precisión, que es una propiedad semántica, parece claramente relacionada con la fuerza, que es una propiedad sintáctica; pero eso no está demostrado. Así, por ejemplo, "Todos los P son Q" es más fuerte y más precisa que "La mayoría de los P son Q" o "Algunos P son Q". Y el aura de vaguedad que puede rodear a "$P(c)$" es en cualquier caso menor que la niebla que envuelve a su consecuencia "$(\exists x)P(x)$". Pero, desde luego, dos fórmulas de igual precisión pueden tener distinta fuerza, como en el caso de "$(x)P(x)$" y "$P(c)$". O sea: la fuerza es suficiente, pero no necesaria para la precisión.

Otra ventaja de la fuerza es el *contenido informativo*: de dos fórmulas de desigual fuerza lógica, la más fuerte puede almacenar más información. Esto es obvio en el caso de las fórmulas formalmente verdaderas, las cuales son las más débiles y, además, vacías; y también es obvio en el caso de las contradicciones, que tienen fuerza máxima y contenido máximo. La tautología "Las cosas son extensas o inextensas" no dice nada acerca de las cosas: el concepto de cosa se presenta de un modo vacío en ella, lo que quiere decir que puede sustituirse tranquilamente por cualquier otro concepto del mismo tipo. Y la contradicción "Las cosas son extensas e inextensas" dice demasiado: abarca demasiado, hasta el punto de ser compatible con evidencias incompatibles. Las verdades formales y las contradicciones son por tanto indeseables en la ciencia: las primeras, porque su contenido es nulo; las últimas, porque su contenido es universal. Por la misma razón debemos intentar prescindir (¡cuando, sea *posible*!) de proposiciones modales. Una proposición tal como "Es posible volver vivo de Marte" puede unirse sin contradicción con "Es posible volver muerto de Marte", pero esa conjunción, sin duda más fuerte que cada uno de sus componentes, no interesa al astronauta: aunque no es autocontradictoria, recoge evidencia contradictoria y dice, por tanto, demasiado.

Como deseamos que nuestras hipótesis científicas sean informativas y contrastables, tenemos que evitar los dos extremos de contenido nulo y contenido universal: tenemos que buscar una vía media entre las verdades lógicas, que no dicen nada acerca del mundo y son por tanto incontrastables por la experiencia (pues no hay en la experiencia nada que pueda compararse con ellas), y las falsedades lógicas que, por decir demasiado, son también incontrastables, porque concuerdan con todo lo que ocurra. Formularemos nuestro requisito del modo siguiente: Las hipótesis científicas tienen que ser autoconsistentes y tener la *fuerza lógica máxima respecto de las evidencias empíricas relevantes para ellas*.

Otro modo de formular la condición referente a la fuerza es el siguiente: Las hipótesis científicas tienen que ser sintéticas (no analíticas, sino factualmente significativas) y tener fuerza lógica máxima respecto de las evidencias empíricas relevantes para ellas. La condición de sinteticidad, entendida en sentido amplio, elimina no sólo las contradicciones, sino también las fórmulas que son verdaderas en virtud de las significaciones de los conceptos que aparecen en ellas. De este modo se elimina el pseudoproblema de la contrastación de convenciones. Así, por ejemplo, no nos preguntaremos ya si el agua pura puede no hervir exactamente a 100°C a presión normal, ni si el peso atómico del oxígeno puede ser ligeramente diferente de 16.

Ahora bien: deseamos que nuestras hipótesis sean sintéticas respecto de las eviden-

cias empíricas que son relevantes para ellas y, al mismo tiempo, deseamos que lógicamente estén tan cerca como sea posible del núcleo del cuerpo de conocimiento disponible, único que puede suministrarles fundamento. No exigimos que *todas* nuestras hipótesis sean deducibles de un determinado cuerpo de conocimiento, pues esto equivaldría a quitar a dicho cuerpo de conocimiento el carácter hipotético y a imposibilitar el progreso. Pero sí que deseamos que *muchas* hipótesis sean deducibles de otras de nivel más alto (postulados), minimizando el número de hipótesis sueltas (extrateoréticas). Este desiderátum puede formularse así: Las hipótesis científicas tienen que ser *todo lo aproximadamente analíticas que sea posible respecto del cuerpo del conocimiento disponible.*

A primera vista, ese desiderátum –que mezcla la condición de fundamentación con la de sistematicidad– es incompatible con la condición de sinteticidad. Pero no hay contradicción: lo que pedimos es sinteticidad respecto del cuerpo de información empírica, y analiticidad máxima posible respecto del cuerpo principal de conocimiento previo. Si se prefiere otra formulación, diremos que nuestros desiderata son: analiticidad máxima de la hipótesis respecto de la experiencia acumulada y sinteticidad respecto de la nueva experiencia. Dicho con términos alusivos a la fuerza, toda hipótesis h debe encontrarse a mitad de camino entre cualquier información empírica pertinente a ella (y de máxima debilidad) y el cuerpo de conocimiento al cual podrá finalmente incorporarse como teorema o como postulado.

Por ser relevante para la precisión y para el contenido informativo, la fuerza lógica es también relevante para la contrastabilidad. La clase de los apoyos posibles y la clase de los falsadores posibles de una fórmula son más grandes y mejor delimitadas cuanto más fuerte es la fórmula.

A la inversa, cuanto más débil es una fórmula, tanto menos determinada e informativa es, y, consiguientemente, tanto menos sensible a contingencias empíricas. Así, por ejemplo, una disyunción supondrá menos riesgos que cada uno de sus componentes: como es más débil que ellos, queda menos cogida. En cambio, una proposición universal factual (que es una conjunción indeterminada, acaso infinita), como "La carga eléctrica de los electrones es constante", tiene un número ilimitado de oportunidades de entrar en conflicto con la experiencia: su fuerza le da un alto grado de contrastabilidad. Dicho brevemente: *Cuanto más fuerte es una hipótesis, tanto mayor es su contrastabilidad* (K. R. Popper).

La fuerza es una condición necesaria, pero no suficiente, de la contrastabilidad, y, por tanto, esos dos conceptos no son interdefinibles. En realidad, mientras que la fuerza de una fórmula puede determinarse por referencia al contexto en el cual se presenta, la contrastabilidad de esa misma fórmula se estimará no sólo a la luz de ese cuerpo de conocimiento, sino también a la de los procedimientos empíricos existentes o concebibles, como las técnicas de medición. Por ejemplo, a principios de este siglo varios investigadores sugirieron que el mecanismo de los impulsos nerviosos es la liberación de sustancias químicas; en aquel momento (1903), la hipótesis no pareció contrastable y se abandonó, hasta que más tarde se inventaron técnicas adecuadas precisamente con la intención de someterla a contrastación. Del ejemplo se desprende que la contrastabilidad no es nada intrínseco a las hipótesis, sino una propiedad metodológica que las hipótesis poseen en diversos grados y que es relativa a un cuerpo de conocimiento empírico y teorético.

Otra condición necesaria de la contrastabilidad, que debe añadirse a la madurez técnica, es la presencia de conceptos empíricos en algún punto de la línea del proceso de contrastación: en otro caso, ninguna experiencia sería relevante para nuestra hipótesis. No exigiremos que la hipótesis misma tenga un contenido empírico, porque esta condición eliminaría las hipótesis científicas más importantes, ninguna de las cuales refiere a la experiencia, aunque puedan contrastarse con la ayuda de experiencia que afecta a ciertas distantes consecuencias de dichas hipótesis. Todo lo que exigiremos en este respecto es que la hipótesis, en conjunción con algún cuerpo de conocimiento, implique fórmulas *aproximadamente traducibles* a proposiciones de observación. Por ejemplo, la hipótesis de que el electrón libre tiene un spin (una especie de rotación intrínseca) no tiene ningún contenido observable; no sólo el spin mismo es un inobservable, sino que además es posible mostrar teoréticamente que ningún experimento puede medir el spin de los electrones libres. Pero la hipótesis del spin, junto con otros supuestos, da razón de ciertas observaciones (como la escisión de las líneas espectrales por campos magnéticos) referentes a sistemas más complejos (átomos, por ejemplo) compuestos por electrones con su spin. (Además, sólo la teoría del spin del electrón puede convertir datos de este tipo en evidencias relevantes para sí misma; en cierto sentido, pues, las contrastaciones empíricas son un asunto de familia.) Podemos también considerar hipótesis psicológicas: la lealtad a los hechos no se garantiza por la mera abstención de formular hipótesis acerca de acontecimientos mentales, sino siendo capaces de deducir de esas hipótesis consecuencias que se refieran a hechos observables, de comportamiento o fisiológicos. Los supuestos relativos a actividades de alto nivel no serán, por definición, contrastables mediante inspección directa, pero tendrán que implicar consecuencias que contengan conceptos de comportamiento y/o fisiológicos exclusivamente, si es que han de considerarse contrastables. Dicho brevemente: la contrastabilidad no exige referencia empírica, sino más bien la posibilidad de ser parte de una red conectada con fórmulas de observación.

Además, ninguna hipótesis es *contrastable independientemente,* porque ninguna premisa es por sí misma suficiente para derivar consecuencias contrastables. En el caso de conjeturas sueltas necesitaremos una parte del cuerpo de conocimiento previo (cf. sec. 5.2). En el caso de una teoría necesitaremos, además de la hipótesis misma, otros supuestos de la teoría y/o datos empíricos (pues ninguna hipótesis da por sí misma información empírica). Así pues, la cuestión no estriba en si una teoría contiene algún supuesto que no sea independientemente contrastable y tenga por tanto que considerarse suspecto, sino más bien (*i*) en si cada uno de los supuestos de la teoría es efectivamente *necesario* para la deducción de consecuencias contrastables, (*ii*) en si los axiomas constituyen un todo consistente que tenga por lo menos *algunas* consecuencias empíricamente contrastables (teoremas de bajo nivel), y (*iii*) en si no hay hipótesis *ad hoc* que no sirvan más que para sostener alguna de las hipótesis y sean insusceptibles de contrastación independientemente de las hipótesis a las que protegen.

La exigencia de que un sistema de hipótesis (teoría) no contenga supuestos innecesarios para deducir proposiciones contrastables tiende a excluir hipótesis parásitas incontrastables adheridas a un sistema que en lo demás es contrastable y beneficiadas así de un apoyo aparente prestado por la confirmación de los teoremas de bajo nivel. Y la relajación de la condición de que las teorías no tengan más que consecuencias empíricamente

contrastables apunta a conservar teorías que, como la mecánica cuántica, contienen supuestos sin consecuencias contrastables, a menudo porque se refieren a sistemas no sometidos a las perturbaciones necesarias para conseguir de ellos informaciones. Podemos considerar esas hipótesis como indirectamente contrastables (cf. sec. 5.6) o sea, como contrastables a través de otras fórmulas de la teoría, las cuales disfrutan de apoyo empírico. Por último, la condición referente a las hipótesis protectoras se formula para evitar situaciones comunes en la pseudociencia, en la cual cada hipótesis suelta puede acaso ser contrastable, pero el conjunto de la doctrina está construido de modo que se sustraiga a toda contrastación; o sea, las varias conjeturas se protegen unas a otras de tal modo que resultan válidas en todos los mundos posibles.

Podemos enfrentarnos ahora con un espinoso problema. Por un lado, hemos estado admitiendo una versión restringida del principio empirista, a saber: que cualquiera que sea el origen y la referencia de las hipótesis científicas, *tiene que contrastarlas la experiencia.* Por otra parte, hemos convenido en considerar hipótesis en sentido propio ciertas fórmulas acerca de hechos *no experimentados* (cf. sec. 5.1). ¿Cómo puede la experiencia contrastar lo que afirman nuestras hipótesis si éstas no dicen nada acerca de la experiencia? ¿No hemos incurrido en contradicción? He aquí la respuesta: hablando estrictamente, la experiencia no puede poner a prueba más que cosas (por ejemplo, automóviles) y proposiciones empíricas (descriptivas), por ejemplo "Llueve". Pero la experiencia no puede someter a contrastación fórmulas interpretativas, o sea, hipótesis. Cuando decimos que la experiencia tiene que suministrar la contrastación de las hipótesis de hecho, queremos decir que en última instancia se utilizan *informes* acerca de la experiencia (o sea, conjuntos de ciertas proposiciones que aspiran a describir la experiencia) para apoyar o destruir determinadas hipótesis. Dicho de otro modo: hablando estrictamente no hay hipótesis científica que se haya sometido jamás a contrastación por la experiencia. Lo único contrastable son ciertas "traducciones" de las consecuencias de nivel más bajo que tienen las hipótesis científicas, a saber, sus traducciones al lenguaje de la experiencia.

Ahora bien: esa traducción de enunciados teoréticos por enunciados empíricos no es un asunto puramente lingüístico: consiste en establecer ciertas correspondencias entre objetos conceptuales (por ejemplo, "puntos de masa") y objetos empíricos (por ejemplo, objetos pequeños). Estrictamente hablando, todo enunciado acerca de puntos de masa que encontremos en la mecánica es empíricamente incontrastable, por la sencilla razón de que en la realidad no hay puntos de masa: lo que podemos observar en la realidad son cuerpos de aspecto pequeño y que pueden considerarse como realizaciones o modelos concretos de los puntos de masa. Esos modelos concretos son en algunos casos piezas de maquinaria, en otros casos son estrellas, pero en cualquier caso nuestras hipótesis los caricaturizan en vez de retratarlos. Es decir: sometemos a contrastación ciertas proposiciones referentes a esos objetos empíricos, y luego comparamos esas proposiciones con las teoréticas. En resumen, el enunciado tópico de que la experiencia somete a contrastación las hipótesis y las teorías es elíptico: las proposiciones que contienen conceptos teoréticos no-observacionales no implican enunciados empíricos. Lo que hacemos es construir ciertos modelos empíricos que pueden compararse más o menos precisamente con algunos enunciados teóricos de nivel bajo. Por eso no diremos que una hipótesis h

implica su evidencia, *e*, sino más bien que *h* implica una consecuencia contrastable, *c*, la cual, adecuadamente traducida, puede compararse con la evidencia *e*.

En resolución: los requisitos que tiene que satisfacer una conjetura para que se la considere una hipótesis científica son los siguientes: (*i*) tiene que ser bien formada, autoconsistente, y tener fuerza lógica máxima respecto de las evidencias empíricas que son relevantes para ella; (*ii*) tiene que ser compatible con el núcleo de conocimiento relevante disponible, y (*iii*) junto con otras fórmulas, tiene que implicar consecuencias traducibles a proposiciones de observación.

Ahora atenderemos a las funciones de la hipótesis en la ciencia.

Problemas

5.7.1. Discutir la argumentación de Popper, según la cual la confirmación no tiene valor alguno porque puede construirse cualquier número de hipótesis (o de teorías, según los casos) para dar razón de un mismo conjunto de datos empíricos. ¿Se sostiene esa argumentación si se añade a la exigencia de contrastabilidad empírica el requisito de fundamentación?

5.7.2. ¿Basta una excepción para destruir una hipótesis universal que esté por lo demás bien fundamentada? Indicación: considerar los casos de (*i*) observaciones rechazadas por motivos teoréticos, y (*ii*) generalizaciones empíricas con excepciones que pueden ser finalmente explicadas por alguna teoría (por ejemplo, la ley de Dulong y Petit).

5.7.3. ¿Es la fuerza una condición necesaria, suficiente o necesaria y suficiente del contenido informativo?

5.7.4. Las hipótesis pueden ser más o menos *plausibles* respecto de algún cuerpo de conocimientos. ¿Se sigue que puede asignárseles *probabilidades* numéricas? Si es así, ¿cómo? Y ¿qué significa la expresión '*p* es más probable que *q*'? Examínese a este respecto las opiniones rivales de H. Reichenbach y K. R. Popper, según quienes las hipótesis más (menos) probables son preferibles.

5.7.5. Analizar la tesis del constructivista social, según la cual las proposiciones analíticas "no son sino aquellas que una comunidad particular trata actualmente como analíticas por convención": B. Barnes, *T. S. Kuhn and Social Science*, p. 78 (Nueva York, Columbia University Press, 1982).

5.7.6. De entre dos hipótesis rivales se preferirá generalmente la más general, siempre que ambas sean compatibles con los mismos datos, aunque no sea sino porque la conjetura más general implica un conjunto de consecuencias más variadas y es, por tanto, susceptible de contrastación más rica que la hipótesis menos general. Ahora bien, la menos general implica la más general. Así por ejemplo (y = constante)$\rightarrow$ [$y = f(x)$], y no a la inversa. Discutir este punto en relación con la cuestión de la fuerza de la hipótesis.

5.7.7. ¿Habríamos aconsejado como científicos la hipótesis de la generación espontánea antes de la época de Pasteur? Tómense en consideración las siguientes versiones de la hipótesis: (*i*) "Los seres vivos se forman a partir de materia inorgánica en un breve lapso de tiempo (por ejemplo, las ranas a partir del barro". (*ii*) "Los primeros antepasados de los seres vivos actuales se desarrollaron a partir de complejos sistemas no vivos a través de un largo proceso".

5.7.8. ¿Sometemos a contrastación hipótesis totalmente aisladas? Indicación: formular una hipótesis sencilla y observar si en el proceso de su contrastación no hay que hacer uso de otras hipótesis. *Problema en lugar de ése*: Examinar la doctrina positivista, según la cual el significado de una proposición consiste en el método de su verificación y, por tanto, una proposición tiene sentido en la medida en que sea verificable. Cf. H. Reichenbach, *Elements of Symbolic Logic*, Nueva

York, Macmillan, 1947, p. 7. Indicación: Discutir una hipótesis que sea manifiestamente incontrastable, pero significativa en el contexto en que se presente, tal como la hipótesis de la reencarnación.

5.7.9. Los enemigos de la teorización rechazan las teorías de C. L. Hull y sus seguidores sobre el aprendizaje, declarando que esas teorías están demasiado altas en la escala de la abstracción, o sea, demasiado lejos de la experiencia, porque contienen conceptos no-observacionales. Arguméntese una crítica basada en las razones contrarias, a saber, que las hipótesis básicas de esas teorías no son suficientemente fuertes, que tendrían que presentarse como soluciones de ecuaciones aún más básicas relativas a la dinámica, más que a la cinemática, del comportamiento.

5.7.10. Discutir la regla siguiente: "La hipótesis que hay que contrastar no debe pertenecer al cuerpo de fórmulas supuesto en el planeamiento y la interpretación de la contrastación, porque si pertenece a él se aumenta la probabilidad de que la hipótesis sea compatible con la evidencia, hasta el punto tal vez de hacer superflua la contrastación." Es claro que esa regla es lógicamente sana, puesto que tiende a evitar círculos viciosos. Pero ¿es viable? *Problema en lugar de ése*: El descubrimiento de un cuervo rojo refutaría la conocida afirmación universal acerca de esos animales; sería imposible contar el cuervo rojo como mero error experimental. ¿Significa eso que las hipótesis cualitativas –que son, como es natural, más débiles que las cuantitativas– son más refutables que éstas?

5.8. FUNCIONES

Las hipótesis van más allá de la experiencia, y, por lo tanto, no pueden tener certeza. ¿Por qué las construimos, si no estamos seguros, ni podemos estarlo, de que sean verdaderas? ¿No podríamos aferrarnos a los hechos y prescindir de hipótesis? Los infalibilistas, esto es, los que creen en el conocimiento indubitable y lo buscan, han desconfiado siempre de las hipótesis y han propuesto que no se las considere, en el mejor de los casos, sino como expedientes temporales y puramente instrumentales y heurísticos. En su lugar han propuesto la fe en una de las siguientes variedades de conocimiento supuestamente indestructible: (*i*) las proposiciones empíricas singulares y, a lo sumo, inducciones basadas en ellas (empirismo); (*ii*) proposiciones deducidas de los "principios eternos de la razón humana" (racionalismo); (*iii*) proposiciones derivadas mediante intelección inmediata, total e infalible (intuicionismo).

Desgraciadamente para el infalibilismo, la experiencia no es segura ni, por encima de todo, se explica a sí misma, sino que es un objeto de la explicación científica; la razón no es invariable en el tiempo y, aunque organiza y elabora el conocimiento empírico, no puede suministrar información empírica; y la intuición es nebulosa y poco digna de confianza. No podemos evitar el formular hipótesis en la vida cotidiana, en el trabajo, en la tecnología, en la ciencia, en la filosofía y hasta en el arte. Construimos hipótesis en la medida en la cual pensamos y obramos racionalmente y con eficacia. Por tanto, en vez de intentar evitar hipótesis lo que tenemos que intentar es controlarlas.

Las hipótesis se presentan en todos los pasos de la investigación, tanto en la ciencia pura cuanto en la aplicada, pero son particularmente visibles en las ocasiones siguientes: (*i*) cuando intentamos resumir y generalizar los resultados de nuestras observaciones;

(*ii*) cuando intentamos interpretar anteriores generalizaciones; (*iii*) cuando intentamos justificar (fundamentar) nuestras opiniones; y (*iv*) cuando planeamos un experimento o el curso de una acción para obtener más datos o para someter una conjetura a contrastación. El conocimiento científico es en tal medida hipotético que algunos investigadores no llegan a darse plenamente cuenta de ello (igual que el pez no se da cuenta de que está inmerso en el agua) y piensan que puede haber una pieza autocontenida de investigación que no presuponga ni contenga hipótesis. Pero esto es un error: la investigación consiste en tratar problemas y, como hemos visto en la sec. 4.2, todo problema (*i*) se plantea en el seno de un cuerpo de conocimiento que contiene hipótesis, y (*ii*) se produce por un esquema (el generador del problema) que, una vez rellenado, se convierte en un dato o en una hipótesis. Cuando formulamos la pregunta individual "¿Cuál es el x tal que x tiene la propiedad A?" –o sea, $(?x)A(x)$, presuponemos que existe al menos un x que tiene la propiedad A, y afirmamos tácitamente el esquema $A(x)$, que es el generador de nuestro problema; la solución a este último consistirá en rellenar el hueco 'x', o sea, en convertir el generador en un dato o en una hipótesis, según el caso. Análogamente, cuando planteamos la pregunta funcional "¿Cuáles son las propiedades del individuo c?", o sea, $(?P)P(c)$, introducimos el esquema $P(c)$, el cual, una vez atribuido un valor determinado a la incógnita P, se convierte en un dato o en una hipótesis. En cualquier caso, el generador de un problema es un esquema o función proposicional, y la solución al mismo es un enunciado que es un dato o una hipótesis, según que rebase la experiencia disponible y sea corregible o carezca de esos dos rasgos. El diagrama que presenta el flujo de la investigación puede por tanto dibujarse así:

$$\left.\begin{array}{c}\text{Conocimiento}\\ \text{previo}\end{array}\right\}\ \text{Problema}\ \left\{\begin{array}{l}\text{Esquema hipotético} \rightarrow \text{Hipótesis}\\ \\ \text{Esquema de dato} \rightarrow \text{Dato}\end{array}\right\}\ \text{Nuevo problema}$$

Si se eliminan las hipótesis, no quedan más que datos de un tipo relativamente desprovisto de interés, superficiales, aislados, sin explicar así como problemas de escasa entidad, suscitados por los esquemas de datos.

Éstas son las principales funciones de las hipótesis en la ciencia:

1. *La generalización de la experiencia*: resumen y ampliación de los datos empíricos disponibles. Una subclase importante de este género de hipótesis es la generalización, para una población entera, de "conclusiones" (hipótesis) "sacadas" de muestras particulares, como las que hacen los agrónomos a propósito de los efectos de los fertilizantes sobre la cosecha de una especie dada. Otro miembro importante de esa misma clase es la llamada *curva empírica*, o sea, la línea continua que se obtiene uniendo un conjunto de puntos de un mismo plano, cada uno de los cuales representa un dato empírico. (Por regla general, los datos cuantitativos adolecen de errores, de tal modo que se representan por segmentos, o hasta por paralelogramos, en vez de hacerlo con puntos. Además, las curvas empíricas no se hacen pasar precisamente por los "puntos", sino cerca de ellos.) La ampliación más allá del conjunto de los datos puede conseguirse en este caso por *interpolación* (suposición de valores intermedios entre los observados) o por *extrapolación*

(suposición de valores más allá del ámbito explorado, como se hace en las predicciones). En la fig. 5.6 se muestra una de las innumerables hipótesis (curvas continuas) que recogen un conjunto de datos imaginarios: es una curva continua que representa una función continua $y = f(x)$; la curva pasa cerca de los centros de los segmentos que representan los datos. Obsérvese que una curva empírica (o la función correspondiente) no es un resumen de datos, ya por el hecho (*i*) de que la curva consta de un conjunto infinito de puntos, mientras que los datos se dan siempre en número finito, y de que (*ii*) sobre la base de la hipótesis (curva) podemos anticipar experiencia en dominios por el momento inexplorados.

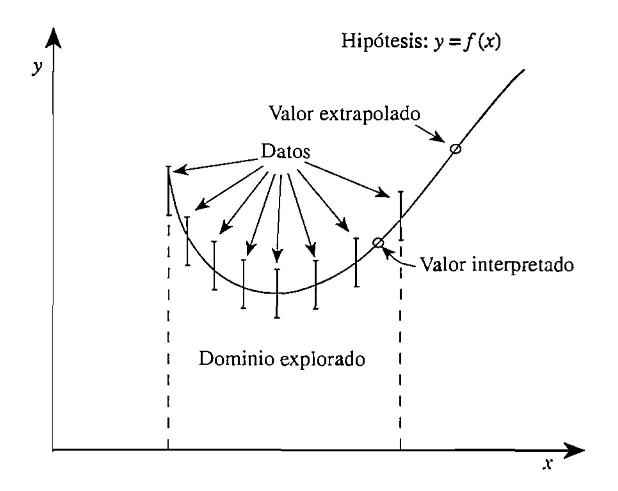


FIGURA 5.6. Una "curva empírica" que recoge un conjunto de datos y representa la relación hipotética $y = f(x)$.

2. *Desencadenadoras de la inferencia*: afirmaciones o conjeturas iniciales, hipótesis a título de ensayo, hipótesis de trabajo o suposiciones simplificadoras que sirven como premisas de un argumento aunque se sospeche su falsedad. Ejemplos: (*i*) en una demostración indirecta probamos con la negación, $-t$, de la tesis del teorema "$h \rightarrow t$" que queremos demostrar, y averiguamos si esa conjetura lleva a contradicción; (*ii*) también es hipotético el valor inicial supuesto en el cálculo de una función por el método de aproximaciones sucesivas, o en la medición de una magnitud; (*iii*) una suposición groseramente simplificadora que haga posible la aplicación de una teoría, como, por ejemplo, la suposición de que la Tierra es plana o perfectamente esférica en una determinada región. Cuando se sabe que son propiamente falsas, esas hipótesis se llaman *ficciones*. Ninguna teoría cuantitativa puede desarrollarse sin la ayuda de tales simplificaciones.

3. *Guías de la investigación*: ocurrencias exploratorias, o sea, conjeturas más o menos razonables (fundadas) que son a la vez objeto y guía de la investigación. Abarcan desde las hipótesis de trabajo formuladas con precisión hasta las vagas conjeturas de carácter programático. Ejemplos. "Las partículas eléctricamente neutras están compuestas por pares de partículas de cargas opuestas", "Los procesos mentales son procesos fisiológicos del cerebro", "Pueden sintetizarse los seres vivos reproduciendo las condiciones físicas que reinaban en nuestro planeta hace dos billones de años."

4. *Interpretación*: hipótesis explicativas, o conjeturas que suministran una interpretación de un conjunto de datos o de otra hipótesis. Las hipótesis representacionales son todas

interpretativas, puesto que nos permiten interpretar los datos –no meramente generalizarlos– sobre la base de conceptos teoréticos. En cambio, las hipótesis fenomenológicas son del tipo generalizador. Por ejemplo, las hipótesis del campo electromagnético (organizadas en una teoría) explican el comportamiento de los cuerpos perceptibles de una determinada clase.

5. *Protección de otras hipótesis*: conjeturas *ad hoc* cuya única *inicial* función es proteger o salvar otras hipótesis de contradicción con teorías aceptadas o de refutación por datos disponibles. Por ejemplo, W. Harvey (1628) formuló la hipótesis de la circulación de la sangre, que no es un proceso observable, y no tuvo en cuenta la diferencia entre la sangre arterial y la venosa; para salvar su hipótesis introdujo otra *ad hoc*, a saber, que el circuito arteria-vena queda cerrado por vasos capilares invisibles; estos vasos se descubrieron efectivamente después.

Atendamos a las curvas empíricas (incluidas entre las hipótesis del tipo 1) y a las hipótesis *ad hoc*, puesto que parecen ser las peor entendidas. Cuando un científico traza una curva que pasa cerca de un conjunto de puntos (más frecuentemente, de segmentos) empíricamente hallados, o cuando aplica una fórmula de interpolación para construir un polinomio que representa esa curva, puede no darse cuenta del salto que está dando y del riesgo que está asumiendo. En realidad, está apostando a que el próximo valor que se observe va a caer muy cerca de la curva hipotética, lo cual puede perfectamente no ocurrir. El científico esta adoptando el principio de continuidad, que es una hipótesis ontológica. La lógica por sí sola no le indica qué hipótesis debe preferir de entre la infinidad de curvas posibles, todas compatibles con el mismo acervo de datos (cf. fig. 5.7). Sin duda puede argüir que preferirá la hipótesis *más simple*, y, efectivamente, las fórmulas de interpolación se construyen de modo que den las expresiones formalmente más simples (polinomios del grado más bajo posible, que representen líneas lo menos onduladas que sea posible). Pero esta preferencia no tiene fundamento lógico ni empírico. Se puede intentar hacerla plausible mediante la postulación de la hipótesis ontológica de que la realidad es simple. Pero esta conjetura queda refutada por la historia de la ciencia, la cual muestra que el progreso es en gran medida el descubrimiento de complejidades por detrás de las apariencias simples. *Hay* sin duda razones para preferir la generalización empírica más simple que sea compatible con los datos *y siempre que no se disponga de ninguna teoría* capaz de suministrar más sugerencias: pero esas razones son de carácter metodológico.

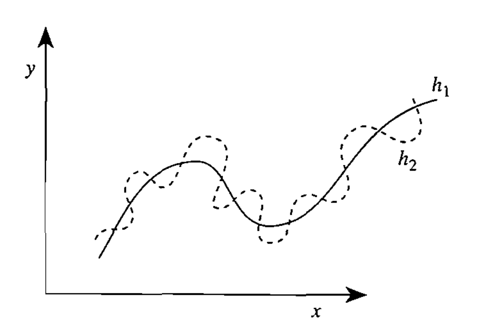


FIGURA 5.7. Todo conjunto de datos es coherente con una infinidad de hipótesis recíprocamente incompatibles.

Una razón para preferir la simplicidad formal (matemática, por ejemplo) en el caso de las generalizaciones empíricas es que nada garantiza que sea mejor aceptar un esquema más complejo: dicho de otra manera, sin más que la evidencia empírica, las hipótesis más complejas son *infundadas*, porque suponen demasiado. (Pero, como se verá pronto, esta situación puede alterarse radicalmente en cuanto se dispone de consideraciones teoréticas.) Otra razón es que, en la medida de lo posible, hay que evitar en la ciencia las hipótesis irrefutables; ahora bien, cuanto más ondulada es una curva empírica, tanto más próxima quedará de cualquier dato futuro, o sea, tanto menos aprenderá de la experiencia, puesto que desde el primer momento anticipa toda la posible (cf. fig. 5.8). Dicho de otro modo: las curvas empíricas más complejas serán menos susceptibles de refutación y más de confirmación por cualquier nueva evidencia, por anómala que ésta sea respecto de hipótesis más simples y arriesgadas. Los partidarios de la confirmación como prueba suprema de las hipótesis no se han dado cuenta de este hecho; mas como lo que buscan es la confirmabilidad máxima, deberían predicar la complejidad máxima de las hipótesis, en vez de afirmar arbitrariamente (o sea, sin fundamento) el principio de simplicidad.

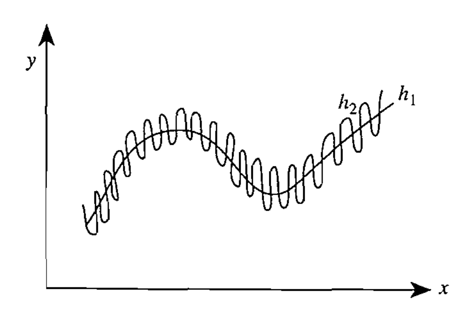


FIGURA 5.8. La hipótesis más compleja (h_2) es la más segura y, por tanto, la menos deseable mientras no se disponga de más evidencias o de teoría.

La argumentación basada en la simplicidad tiene mucha fuerza en el estadio preteorético, que es el único tenido en cuenta por los filósofos inductivistas. Pero en cuanto que se intenta incluir una generalización empírica en un cuerpo teórico, se impone el requisito, más potente, de compatibilidad con el resto del conocimiento. Tomemos, por ejemplo, la ley galileana semi-empírica de la caída libre, a saber, "$s = 5t^2$", en la cual 's' designa la altura (en metros) de un cuerpo que ha estado cayendo libremente durante t segundos. Esta ley puede considerarse como la más simple de entre las infinitas relaciones posibles entre valores observados, pero sólo es verdadera en la proximidad de la superficie terrestre, y contiene además el número "5", sobre el cual no da explicación alguna. La correspondiente ley teorética (no conocida por Galileo) es "$s = 1/2\ gt^2$". Esta fórmula se deduce de los axiomas de Newton, y tiene un dominio de validez más amplio que el de la ley semi-empírica de Galileo, pues se aplica, dentro de ciertos límites, a todo campo gravitatorio homogéneo de intensidad g. La ley teorética no habría podido obtenerse por inducción, porque contiene un concepto teorético no-observacional, a saber, la "aceleración de la gravedad", designado por 'g', el cual es una construcción que sólo tiene sentido en una teoría de la gravitación. También son ajenas a esta ley las consideraciones de simplicidad; dicho sea de paso, la ley tiene que complicarse considerablemente cuando se trata de campos muy intensos y de grandes velocidades. Así pues, ni la inducción ni la simpli-

cidad han sido aquí la última palabra, sino que la ha pronunciado la continuidad con el núcleo del conocimiento teorético. La simplicidad no parece importante más que en los estadios tempranos y simples.

Consideremos ahora el problema de las construcciones *ad hoc*. Las conjeturas protectoras son las más tentadoras de todas las clases de hipótesis, pero también las más rehuidas por los pensadores honrados de todas las filiaciones filosóficas, con la excepción de los convencionalistas, los cuales piensan que todas las hipótesis son de la misma calidad y no pasan nunca de ser meros instrumentos útiles para la condensación y la elaboración de los datos: como consecuencia de ese punto de vista, el convencionalista no siente repugnancia alguna cuando se trata de apoyar una ficción por medio de otra ficción. Hemos rechazado el convencionalismo por incoherente con el objetivo de la ciencia (la construcción de los modelos más veraces posibles de las cosas) y con el método de la ciencia (que supone la contrastación de los modelos hipotéticos desde el punto de vista de su verdad). Pero a pesar de rechazar el convencionalismo, afirmaremos que las hipótesis *ad hoc* son inevitables y bienvenidas en la ciencia en la medida en que contribuyen a enriquecer la fundamentación de hipótesis importantes y a asegurar su consistencia con otras hipótesis. Las hipótesis *ad hoc* son aceptables cuando protegen ideas importantes contra críticas *precipitadas* (como las basadas en la medición más reciente conseguida), mientras que son inadmisibles si impiden *toda* crítica. Lo que hay que exigir antes de admitir (temporalmente) una hipótesis protectora *ad hoc* es que sea *contrastable independientemente,* por sí misma. De acuerdo con lo que convinimos en 5.2 y 5.7, si una conjetura no es contrastable no es científica; una vez contrastada, una hipótesis protectora se convierte en una proposición falsa o en una hipótesis más o menos normal. Por tanto, no hay necesidad de imponer a las hipótesis científicas el ulterior requisito de no ser *ad hoc*: bastará la contrastabilidad para eliminar protectoras indeseables. Esta tesis quedará ilustrada por el análisis de unos pocos ejemplos.

La hipótesis de que los elementos atómicos pueden tener diferentes isótopos (o sea, subespecies físicamente diversas de especies químicamente homogéneas) se construyó inicialmente para salvar la hipótesis de que los átomos están compuestos por un número discreto de partículas. La hipótesis de los isótopos (F. Soddy, 1913) salvó efectivamente la teoría atómica, amenazada por el descubrimiento de que la mayoría de los pesos atómicos no son múltiplos enteros exactos de una unidad básica: esta anomalía se explicó diciendo que las muestras naturales de elementos químicos podían ser mezclas de varios isótopos, de tal modo que el peso atómico medido era una media de los pesos atómicos de los varios isótopos presentes en las muestras. Esta hipótesis protectora quedó luego confirmada independientemente: se separaron, efectivamente, y se pesaron los isótopos de cierto número de elementos con la ayuda del espectrómetro de masa (F. W. Aston, 1919), un expediente inventado para someter a contrastación la hipótesis de los isótopos. Así pues, el carácter *ad hoc* de la hipótesis de los isótopos ha sido simplemente un trivial e irrelevante accidente de su nacimiento.

*No siempre está claro si va a ser contrastable la hipótesis introducida para proteger a otra o a una entera teoría: en última instancia, la contrastabilidad no es intrínseca a la hipótesis, sino relativa a los medios (teorías y técnicas empíricas) disponibles en un momento dado. Tal fue el caso de la hipótesis de la contracción, la hipótesis según la cual

todos los cuerpos se contraen en la dirección de su movimiento. Con esta hipótesis intentaron G. F. Fitzgerald y H. A. Lorentz salvar la mecánica clásica de las destructoras "conclusiones" que en otro caso se derivarían del experimento de Michelson-Morley. Frecuentemente se lee que hubo que rechazar la hipótesis de la contracción porque no es independientemente contrastable, puesto que afirma explícitamente que la contracción de que habla es absoluta o, como también puede decirse, relativa al (inexistente) éter inmóvil. Pero la hipótesis de la contracción fue en última instancia sometida a contrastación; lo que pasa es que costó bastante tiempo conseguir sus consecuencias medibles y comprender que *presuponía* supuestos incontrastables, como la existencia del espacio absoluto. Una de las consecuencias contrastables de la hipótesis de la contracción es que, como la resistencia eléctrica de un hilo es proporcional a su longitud, si la contracción fuera real, la resistencia disminuiría durante el movimiento: Trouton y Rankine refutaron esa consecuencia en 1908. Otra consecuencia contrastable es que, como las frecuencias de las vibraciones propias de un cubo dependen de su arista, tendrían que cambiar con el movimiento, cosa que también resultó falsa (Wood, Tomlison y Essex, 1937).

La hipótesis de la contracción fue rechazada o, más propiamente, reinterpretada por Einstein, no porque fuera una hipótesis protectora, sino porque presupone el supuesto incontrastable de un espacio absoluto y, consiguientemente, de un movimiento absoluto. Si no hubiera sido por eso y por la falsedad factual, los físicos habrían acogido la hipótesis de la contracción como salvadora de algo que valía la pena salvar, a saber, la mecánica clásica. Cuando una gran teoría que ha prestado grandes servicios se encuentra en peligro por el descubrimiento de una excepción, se produce el impulso primario y legítimo a intentar salvarla mediante alguna hipótesis *ad hoc* menos valiosa, pero contrastable.*

La tendencia a construir hipótesis protectoras es psicológicamente comprensible: por una parte, ya normalmente nos resistimos a admitir cambios en nuestro sistema de creencias; y, por otro lado, la hipótesis inescrutable tiene la ventaja –desde el punto de vista de la conservación de las creencias– de que no puede ser puesta a prueba independientemente, de tal modo que no sólo suministra protección sino que, además, es ella misma inmune a cualquier ataque de la experiencia. Así ocurre, por ejemplo, con la pretensión de los espiritistas según la cual todo fallo en la percepción de señales mentales en el orden correcto se debe a la facultad precognitiva del sujeto: de este modo toda evidencia desfavorable a la hipótesis de la telepatía queda recogida como confirmación de la hipótesis de la precognición. Análogamente, según el psicoanálisis hay ciertas experiencias infantiles que producen agresividad; pero cuando se encuentra un caso de comportamiento temeroso cuando según la doctrina tendría que ser agresivo, el hallazgo no se cuenta como contraejemplo, sino que se introduce la hipótesis *ad hoc* de que el sujeto ha construido una reacción contra su tendencia natural. De este modo es imposible que se presenten evidencias desfavorables, y el inocente queda convencido por un *gang* de cómplices que no quedan nunca al descubierto porque se facilitan unos a otros la coartada. Conclusión práctica: aunque las teorías científicas se someten a contrastación en su conjunto, porque la mayoría de sus consecuencias contrastables se derivan de cierto número de sus supuestos básicos, en cambio las conjeturas *ad hoc* que haya entre esos supuestos tienen que ser contrastables independientemente.

Vamos a terminar este punto. Tenemos que admitir con el infalibilista que toda hipó-

tesis supone un riesgo. Por otro lado, el aceptar tales riesgos es todo lo que podemos hacer en el terreno de la ciencia, pues la investigación científica es esencialmente un tratamiento de problemas que exigen la concepción, la elaboración y la contrastación de hipótesis. Además, cuanto más arriesgadas son las hipótesis, tanto mejores son (dentro de ciertos límites), porque dicen más y, consiguientemente, son más sensibles a la experiencia. Hay, sin duda, algunas hipótesis peligrosas que deben evitarse; las limitaciones *a priori* (o sea, sin fundamento) de la inteligencia humana, las conjeturas ingenuas que no tienen más argumento en su favor que su simplicidad (conjeturas "naturales", "obvias", "intuitivas"), las conjeturas sofisticadas que no pueden comprobarse con la ayuda de la experiencia, y las hipótesis *ad hoc* que se resisten a una contrastación independiente. Pero los requisitos simultáneos de *fundamentación y contrastabilidad* eliminarán todo exceso de este tipo. La cuestión no es minimizar las hipótesis, sino maximalizar su control, porque los seres racionales se enfrentan con la experiencia, la multiplican y trascienden mediante la invención de hipótesis. La divisa no es *Tener la mente vacía*, sino *Tener la mente abierta.*

En la sección siguiente mostraremos que al embarcarnos en una investigación científica no llevamos con nosotros simplemente un cuerpo de hipótesis factuales y de datos, sino también un haz de hipótesis filosóficas.

Problemas

5.8.1. Examinar las siguientes opiniones acerca de las hipótesis. (*i*) Sexto Empírico, *Against the Professors* [Adversus Mathematicos] III, 9-10, en *Works*, trad. inglesa de R. G. Bury, Cambridge, Mass., Loeb Classical Library, 1949, IV, p. 249: "...si la cosa es verdadera, no la postulemos como si no lo fuera. Y si no es verdadera, sino falsa, la hipótesis no será de ninguna ayuda..." Indicación: ¿Vale esa objeción en el marco de una epistemología que no admita ni la verdad factual completa ni la certeza completa a su respecto? (*ii*) F. Bacon, *Novum Organum*, Aphorism I, en *Philosophical Works*, J. M. Robertson (ed.), Londres, Routledge, 1905, p. 259: "El hombre, por ser siervo e intérprete de la naturaleza, puede hacer y entender todo y sólo lo que ha observado de hecho o en el pensamiento en el curso de la naturaleza: más allá de eso no conoce ni puede hacer nada. La tarea no es, consiguientemente, hacer 'anticipaciones de la naturaleza' (hipótesis), sino 'interpretaciones de la naturaleza' (inducciones)." Este último procedimiento, según el Aphorism XIX, "deriva axiomas de los sentidos y de lo particular, subiendo mediante un ascenso gradual y continuo, hasta llegar al final a los axiomas más generales. Ésta es la vía verdadera, que no ha sido recorrida hasta ahora". Indicación: averiguar si es lógicamente posible subir de las fórmulas más débiles hasta las más fuertes. (*iii*) J. Toland, *Christianity not Mysterious*, Londres, 1702, p. 15: "... *como la probabilidad no es conocimiento, destierro toda hipótesis de mi filosofía*; pues por muchas que admita, *no por eso aumentará mi conocimiento en una iota*: porque al no aparecer entre mis Ideas ninguna Conexión evidente, es posible que tome como verdadera la parte falsa de la Cuestión, lo cual es lo mismo que no saber nada de la Materia. Cuando consigo el *Conocimiento*, gozo de toda la Satisfacción que le acompaña; cuando sólo tengo *Probabilidad*, suspendo el Juicio o, si vale la pena el Esfuerzo, busco la Certeza."

5.8.2. Examinar los enunciados siguientes: (*i*) L. Pasteur, en R. Dubos, *Louis Pasteur*, Boston, Little, Brown and Co., 1950, p. 376: "Las ideas preconcebidas son como faros que iluminan el camino del experimentador y le sirven como guías para interrogar la naturaleza. Sólo se convierten en un peligro si las transforma en ideas fijas, razón por la cual querría ver inscritas en todos

los templos de la ciencia las siguientes profundas palabras: 'La mayor perturbación de la mente consiste en creer en algo porque uno desea que sea así' ". (*ii*) T. H. Huxley, *Hume*, Londres, Macmillan. 1894, p. 65: "Toda ciencia parte de hipótesis; dicho con otras palabras, de supuestos no probados y que pueden ser, y son frecuentemente, erróneos, pero son algo mejor que nada para el que busca un orden en la plétora de los fenómenos. Y el proceso histórico de toda ciencia depende de la crítica de las hipótesis –su eliminación gradual, esto es, la de sus partes falsas o superfluas– hasta que no queda más que la exacta expresión verbal de lo que sabemos del hecho, y no más, lo cual constituye la perfecta teoría científica." (*iii*) M. Schlick, *Sur le fondement de la connaissance*, París, Hermann, 1935, p. 33: "Todas las proposiciones de la ciencia, todas sin excepción, resultan *hipótesis* cuando se examina su valor, esto es, su valor veritativo." En cambio, los enunciados puramente empíricos (enunciados de protocolo) son ciertos, pero no son proposiciones que pertenezcan a la ciencia, ni se entienden a menos que se los ilustre con ademanes. Así, por ejemplo, 'Aquí y ahora dos líneas amarillas' no es una sentencia científica. En cambio, 'El sodio presenta una línea doble en la parte amarilla de su espectro' es una genuina sentencia científica (p. 47).

5.8.3. Comentar la observación de Darwin de que "toda observación tiene que ser en favor o en contra de alguna opinión, si es que ha de servir para algo".

5.8.4. Discutir la naturaleza "del" principio de simplicidad y su papel en la ciencia. En particular, examinar si es un principio en sentido propio o puede derivarse de supuestos más fuertes, y si supone un compromiso ontológico.

5.8.5. ¿Son estrictamente empíricas las curvas así llamadas? ¿Y son esos gráficos propiamente hipótesis o más bien símbolos no-verbales (geométricos) de hipótesis?

5.8.6. Para fines de matematización, la población puede considerarse como una variable continua. ¿Qué tipo de suposición es ése?

5.8.7. De acuerdo con W. D. Matthew, todos los animales terrestres se originaron en la región holártica (Norteamérica, Europa, norte de Asia, norte de África y Ártico). Esta hipótesis sólo es sostenible juntamente con la de la deriva continental, que fue comprobada mucho después. *Problema en lugar de ése*: Examinar la siguiente argumentación de B. Russell, en *Human Knowledge*, Londres, Allen and Unwin, 1948, p. 343, en favor de la exigencia de características no-empíricas –como la simplicidad y la continuidad– en las hipótesis: "Supongamos que fuéramos a establecer la hipótesis de que las mesas, cuando nadie las mira, se convierten en canguros; esto complicaría mucho las leyes de la física, pero ninguna observación podría refutarlo." ¿Satisface la conjetura de las mesas-canguros la condición de fundamentación? ¿E implica consecuencias contrastables diferentes de la hipótesis de las mesas-mesas?

5.8.8. H. Bondi y T. Gold (1948) postularon (*i*) que el universo en conjunto es en todas partes y siempre el mismo ("Principio Cosmológico Perfecto") y (*ii*) que las galaxias están constantemente separándose unas de otras (expansión del universo). Esos dos postulados son recíprocamente incompatibles (puesto que la expansión lleva a la rarefacción de la materia, lo cual contradice la hipótesis de la homogeneidad total), a menos que se añada la hipótesis de que constantemente se crea materia de la nada y exactamente con la tasa necesaria para compensar la expansión del universo. Examinar esta última hipótesis desde el punto de vista de su fundamentación y desde el de su contrastabilidad. Cf. M. Bunge, "Cosmology and Magic", *The Monist*, *44*, 116, 1962.

5.8.9. J. C. Maxwell (1864) postuló que toda corriente eléctrica es cerrada, lo cual quedaba aparentemente refutado por la existencia de condensadores. Para salvar su hipótesis básica supuso que la corriente variable no termina en las láminas del condensador sino que se propaga por el cuerpo dieléctrico (o en el vacío) como "corriente de desplazamiento". Esta hipótesis fue severamente criticada por motivos metodológicos, pues introducía un inobservable y era *ad hoc*. La hipótesis fue confirmada independientemente por H. Hertz (1885) después de la muerte de Maxwell.

Discutir el caso. *Problema en lugar de ése*: Discutir cualquier otro caso de hipótesis *ad hoc*.

5.8.10. Según E. Mach, *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872, trad. inglesa, Chicago, Open Court, 1911, p. 49, "en la investigación de la naturaleza no debemos ocuparnos más que del conocimiento de la conexión de las apariencias unas con otras. Lo que nos representamos más allá de las apariencias existe *sólo* en nuestra comprensión y no tiene para nosotros más que el valor de una *técnica memorística* o fórmula, cuya forma por ser arbitraria e irrelevante, varía muy fácilmente con el punto de vista de nuestra cultura". Si eso es verdad, la ciencia abunda en hipótesis incontrastables que, por serlo, no tendrán nada que permita una elección entre ellas. Por otra parte, en el fenomenismo de Mach hay un núcleo racional, a saber, la eliminación de supuestos insusceptibles de contrastación. Discutir la paradoja. *Problema en lugar de ése*: En la sec. 5.7. se afirmó que ninguna hipótesis se somete a contrastación aislada de otras hipótesis, y en la presente sección se ha afirmado que hay que exigir la contrastabilidad independiente de las hipótesis *ad hoc*. Discutir esta aparente contradicción.

5.9. HIPÓTESIS FILOSÓFICAS EN LA CIENCIA

El conocimiento científico no contiene supuestos filosóficos. De esto se infiere frecuentemente que la investigación científica no tiene ni presupuestos filosóficos ni alcance filosófico, y que, por tanto, la ciencia y la filosofía serían compartimentos impermeables. Pero ésa es una conclusión precipitada. Tal vez no se encuentre la filosofía en los edificios científicos terminados (aunque incluso esto es discutible), pero en todo caso es sin duda parte del andamiaje utilizado en su construcción. Y, a la inversa, la filosofía puede y debe construirse con el método de la ciencia y sobre la base de los logros y los fracasos de la investigación científica (cf. sec. 4.7). No podemos argüir aquí ese último punto: lo que nos va a ocupar aquí es sustanciar la tesis de que la investigación científica *presupone y controla* ciertas importantes hipótesis filosóficas. Entre ellas destacan las siguientes: la realidad del mundo externo, la estructura de muchos niveles que tiene la realidad, el determinismo en un sentido amplio, la cognoscibilidad del mundo y la autonomía de la lógica y de la matemática.

1. *Realismo*: *La realidad del mundo externo*. Algunos filósofos sostienen que la ciencia factual no presupone, emplea ni confirma la hipótesis filosófica de que existen objetos reales, o sea, de que hay algo que existe independientemente del sujeto conocedor. Pero eso es un error. En primer lugar, la mera noción de verdad factual, o adecuación de una proposición a un hecho, contiene la noción de hecho objetivo; sólo la verdad formal, por ser una propiedad sintáctica, es independiente de los hechos, y por eso puede ser completa y, consiguientemente, definitiva. En segundo lugar, cuando se construye una hipótesis factual para cubrir un conjunto de hechos, se presume que los hechos son reales (actuales o posibles); no se pierde tiempo en la ciencia en dar razón de hechos inexistentes. En tercer lugar, ya las contrastaciones en búsqueda de la verdad factual de una hipótesis presuponen que hay algo fuera del mundo interno del sujeto y que concordará en alguna medida con la proposición en cuestión o discrepará de ella. Si ese algo dependiera enteramente del sujeto, no hablaríamos de contrastaciones objetivas ni de verdad objetiva. En cuarto lugar, todo procedimiento empírico de la ciencia empieza por establecer una

línea de separación entre el sujeto investigador y su objeto: si no se traza esa línea y cualquier otro operador puede tener acceso al mismo objeto, el procedimiento no debe ser aceptable para los científicos. En quinto lugar, la ciencia natural, a diferencia de concepciones pre-científicas como el animismo y el antropomorfismo, no da cuenta de la naturaleza usando los términos apropiados para atributos típicamente humanos, como haría si la naturaleza dependiera de algún modo del sujeto. Así, por ejemplo, no damos razón del comportamiento de un objeto basándonos en nuestras expectativas ni en otras variables subjetivas, sino que, por el contrario, basamos nuestras expectativas racionales en las propiedades objetivamente averiguables del objeto tal como nos es conocido. En sexto lugar, no habría necesidad de experimentar ni de teorizar acerca del mundo si éste no existiera por sí mismo; una teoría factual refiere a algo que no es el sujeto (aunque puede ser una persona considerada como objeto) y la contrastación empírica de la teoría supone la manipulación y hasta a veces la modificación (mediante el experimento) del correlato de la teoría. En séptimo lugar, la ciencia factual contiene reglas de interpretación que presuponen la existencia real de los correlatos. Así, por ejemplo, la regla semántica "'Z' designa el número atómico de un elemento" no se inventa por gusto ni para correlatar determinadas percepciones, sino que se supone que establece una relación entre el signo 'Z' y una propiedad física objetiva (aunque no-observable), a saber, el número de electrones que hay en un átomo. En octavo lugar, no sería necesaria ninguna corrección sucesiva de las teorías factuales si fueran meras construcciones convencionales que no intentaran reflejar la realidad de un modo simbólico. Si creyéramos menos en la existencia de los átomos que en nuestras teorías atómicas, no estaríamos dispuestos a corregir estas últimas en cuanto que presentan sus defectos, sino que abandonaríamos la hipótesis de la existencia de los átomos. En noveno lugar, los axiomas de una teoría factual son enunciados afirmativos más que negativos, no sólo porque las proposiciones negativas son más bien indeterminadas y, por lo tanto, poco fecundas, sino también porque una proposición afirmativa sugiere la búsqueda de alguna entidad o propiedad existentes, puesto que sólo la existencia de ese correlato puede hacer verdadera aquella proposición; en cambio, las proposiciones negativas son verdaderas si no existe nada que las false. En décimo lugar, los enunciados legaliformes presuponen la existencia objetiva de los objetos a cuyas propiedades se refieren; pues en otro caso su verdad sería vacía. En resolución: la ciencia factual no *prueba* la existencia del mundo externo, sino que *presupone* sin duda ninguna esa hipótesis filosófica. Los que quieran refutar esa hipótesis tendrán pues que prescindir de la ciencia.

*Pese a ello se dice a menudo que la contemporánea física atómica y nuclear pone en tela de juicio o hasta refuta la hipótesis de la realidad del mundo externo; y hay autores que dan, ciertamente, esa impresión. Pero un examen semántico de los enunciados fundamentales de la teoría de los quanta muestra que esos enunciados caen en una de las clases siguientes: (*i*) enunciados referentes a objetos autónomos no perturbados por medición, como un átomo en estado estacionario (o sea, que no absorbe ni irradia energía) o un fotón que viaja por un espacio vacío, en el cual ningún dispositivo puede detectarlo absorbiéndolo; (*ii*) enunciados referentes a objetos en observación, medición o, en general, interacción con sistemas macroscópicos, como un haz de electrones que atraviesa un sistema de ranuras; (*iii*) enunciados referentes a resultados (posibles) de la observación o la medición; y (*iv*) enunciados referentes a las propiedades de las leyes básicas mismas. Los

enunciados de las clases (*i*) y (*ii*) refieren a objetos físicos a los que se atribuye una existencia independiente: los primeros, a microobjetos no-observables, los otros a sistemas complejos que contienen a la vez una entidad microscópica (el objeto de la investigación) y una entidad macroscópica (un medio de investigación). Los enunciados de las clases (*iii*) y (*iv*) no se refieren directamente a objetos físicos existentes por sí mismos; los primeros se refieren a resultados de operaciones físicas practicadas sobre ellos, los demás a otros enunciados. Pero las operaciones físicas se consideran aquí como procesos puramente físicos (aunque seguramente habrán sido planeados por alguna inteligencia), y los enunciados a los que se refieren los de la clase (*iv*) son de la clase (*i*) o de la clase (*ii*). En ningún caso tratan las fórmulas de la teoría de los quanta con estados mentales del observador, los cuales son tema de investigación para el psicólogo. Lo más que afirman ciertas interpretaciones de la teoría es que ésta no contiene enunciados de la clase (*i*). Pero esa afirmación –que es falsa– no afecta a la hipótesis de la realidad del mundo externo: no hace sino convertir la teoría de los quanta en una teoría de objetos bajo control experimental, lo cual, dicho sea de paso, si fuera verdad, impediría la aplicación de la teoría a la astrofísica.*

2. *Pluralismo de propiedades*: *La realidad tiene una estructura de varios niveles*. Es una hipótesis ontológica contenida en (y apoyada por) la ciencia moderna la de que la realidad, tal como la conocemos, hoy, no es un sólido bloque homogéneo, sino que se divide en varios *niveles* o sectores, caracterizado cada uno de ellos por un conjunto de propiedades y leyes propias. Los principales niveles reconocidos hasta el momento parecen ser el físico, el biológico y el sociocultural. Cada uno de ellos puede a su vez dividirse en subniveles.

Otro presupuesto, relacionado con el anterior, es que los *niveles superiores arraigan en los inferiores*, histórica y contemporáneamente; o sea, que los niveles superiores no son autónomos, sino que dependen en cuanto a existencia de la subsistencia de niveles inferiores, y han surgido en el tiempo a partir de los inferiores en cierto número de procesos evolutivos. Este arraigo de lo superior en lo inferior es la base objetiva de la explicación parcial de lo superior por lo inferior o a la inversa.

Las dos hipótesis ontológicas básicas que acabamos de señalar están insertas en la visión contemporánea de las cosas, hasta el punto de que subyacen a la clasificación corriente de las ciencias y dominan más o menos nuestro sistema de educación superior. Así, por ejemplo, el psicólogo científico se ve obligado a aprender cada vez más biología y hasta química y física, porque cada vez se ve más claro que los hechos psíquicos arraigan en esos niveles inferiores; pero el psicólogo se ve también cada vez más obligado a comunicar con la sociología, porque estamos dándonos cuenta de que existe una reacción del nivel sociocultural sobre los niveles inmediatamente inferiores a él: así reconocemos la influencia de la religión en las costumbres de alimentación y la reacción de estas últimas costumbres sobre la producción de alimentos. Sólo los físicos tienen derecho a ignorar los niveles superiores –y a veces los ignoran hasta el punto de hablar de una influencia mental directa sobre los fenómenos físicos, saltándose así todos los niveles intermedios.

Además subyace la citada hipótesis de los niveles a varios importantes principios de la *metodología* científica, los de parsimonia de niveles, trascendencia de niveles, nivel-origen y contigüidad de niveles. (Según algunos filósofos los niveles son un asunto pura-

mente metodológico, sin alcance ontológico. Pero ésta es otra hipótesis ontológica, la cual, además, separa la metodología del resto y es por tanto incapaz de explicar por qué un método es eficaz o fracasa.) El principio de la *parsimonia de niveles* es como sigue: "Empezar por estudiar los hechos en su propio nivel; no introducir más niveles más que si resulta imprescindible". Por ejemplo, no hay que introducir la psicología y la psiquiatría en el estudio de la política internacional, puesto que se puede andar un gran trecho sin su compañía. El principio de la *trascendencia de niveles*: "Si un nivel es insuficiente para dar cumplida cuenta de un conjunto de hechos, hay que ahondar bajo su superficie y por encima de ella en busca de los niveles contiguos". Por ejemplo, para explicar los enlaces químicos no hay que detenerse ante las leyes particulares de las reacciones químicas o su correspondiente termodinámica, sino que hay que mirar también por debajo del nivel molecular, al nivel atómico, en busca de los mecanismos relevantes. Principio del *nivel-origen*: "Intentar explicar lo superior por lo inferior, y no invertir el proceso sino en última instancia". Por ejemplo, hay que intentar resolver el problema de la resolución de problemas por los animales utilizando los conceptos de ensayo y error y de aprendizaje; no se introducirán la comprensión y la inteligencia más que si ese primer planteamiento es insuficiente y si la complejidad del sistema nervioso del animal estudiado hace posibles la compresión y la inteligencia. Este principio puede llamarse también principio de *reductivismo metodológico*, que no debe confundirse con el reductivismo ontológico ni con la negación de los niveles. Principio de *contigüidad de los niveles*: "No saltarse niveles, esto es, no ignorar los niveles intermedios cuando se establecen relaciones entre niveles". Por ejemplo, no hay que considerar adecuada una explicación de un esquema de comportamiento social sobre la base de términos físicos, porque los estímulos físicos no pueden alcanzar el nivel social más que a través de organismos dotados de ciertas capacidades psíquicas. El salto de niveles puede ser, sin embargo, inevitable cuando se dispone de poco conocimiento; y puede ser incluso interesante cuando los procesos intermedios no tienen interés en la investigación en curso. Pero éstas son consideraciones pragmáticas que no tienen valor cuando el objetivo perseguido es una fiel reproducción de la realidad.

3. *Determinismo ontológico*: *Leyes, no magia*. La doctrina filosófica del determinismo tiene dos aspectos, uno ontológico y otro epistemológico, que se confunden frecuentemente. El *determinismo ontológico* sostiene la determinación de las cosas y de los acontecimientos; el *determinismo epistemológico* afirma la posibilidad de determinar conceptualmente (conocer) los hechos y sus esquemas enteramente. En sentido estrecho, el determinismo ontológico equivale al determinismo mecanicista o laplaceano, componente de la visión newtoniana del mundo y según el cual el cosmos es un conjunto de partículas en interacción que se mueven de acuerdo con un puñado de leyes mecánicas. La versión amplia del determinismo supone sólo (*i*) la hipótesis de que todos los acontecimientos son según leyes (*principio de legalidad*) y (*ii*) la hipótesis de que nada nace de la nada ni se sume en ella (*principio de negación de la magia*). Este determinismo laxo no restringe los tipos de leyes admisibles: admite leyes estocásticas y reconoce la objetividad del azar. Lo único que niega es la existencia de acontecimientos que carezcan de ley o no sean producidos por otros acontecimientos anteriores.

Hasta la tercera década de nuestro siglo persistieron varios matices de determinismo

estrecho, ninguno de los cuales reconocía la objetividad del azar. Sus sostenedores no se daban cuenta de que incluso admitiendo que cada una de las entidades de un conjunto se comporte de un modo perfectamente determinado (no casual), resultará alguna cantidad de juego o azar por la relativa independencia mutua de esas entidades (pues no existe la rigidez completa). Finalmente, el determinismo ontológico estrecho quedó derrotado por la teoría de los quanta, la cual reconoce la objetividad del azar no sólo como rasgo de sistemas complejos, sino incluso al nivel de las partículas; "elementales", las cuales obedecen a leyes estocásticas. *El que esa casualidad sea un conocimiento definitivo o pueda ser algún día analizada como resultado de complejos procesos internos o interacciones con campos de niveles inferiores es cosa que aún no puede decidirse. Es, además, importante darse cuenta de que tanto la teoría de los quanta como su filosofía están aún en gestación, por lo que no deben inferir de ellas consecuencias detalladas presentándolas como si fueran conocimientos definitivos acerca del comportamiento de los microsistemas. Pero el tipo de azar y los niveles exactos en los cuales se presenta es de importancia secundaria si se compara con el reconocimiento de que el azar es un modo del devenir y precisamente un modo que obedece a leyes. También es importante para nosotros en este momento darnos cuenta de que la teoría de los quanta se acoge a los principios de legalidad y recusación de la magia: esa teoría formula leyes que recubren la mayoría de los esquemas conocidos al nivel atómico, y entre esas leyes hay algunas de conservación, esto es, que niegan la creación *ex- nihilo* y la aniquilación sin resto de sistemas materiales (partículas o campos), por muchas que sean las partículas que se "aniquilan" (esto es, que se transforman en fotones) y viceversa. En resolución, la teoría de los quanta respeta el determinismo general igual que cualquier otra teoría científica. ¿Y cómo podría ser de otro modo si esa teoría pretende esforzarse por alcanzar el objetivo de la ciencia, que es la reconstrucción conceptual de los esquemas (leyes) del ser y el cambio?* Imaginar acontecimientos no regidos por leyes sería reconocer que ninguna ciencia puede dar razón de ellos, lo cual equivaldría a prejuzgar la cuestión. Imaginar acontecimientos que obedecieran a leyes, pero fueran indeterminados (como, por ejemplo, la creación de átomos a partir de la nada) sería reconocer que ninguna ley es realmente necesaria, puesto que todo es posible, incluso la magia: de hecho, si un átomo puede surgir sin condición antecedente determinada, entonces ¿por qué no va a poder hacer lo mismo una molécula? Y si lo puede una molécula, ¿por qué no un cromosoma? Y si lo puede un cromosoma, ¿por qué no una célula? Y si lo puede una célula, ¿por qué no un dinosaurio? Dicho brevemente: el determinismo general está implantado en la ciencia *qua* ciencia, en la medida en que la investigación científica es la búsqueda y la aplicación de las leyes, las cuales, a su vez, ponen límites a las posibilidades lógicas, como puede ser el nacimiento de algo a partir de nada o la desaparición de algo en nada.

4. *El determinismo epistemológico: Cognoscibilidad.* El determinismo epistemológico estricto es la hipótesis programática de que toda cosa puede ser conocida con tal de que atendamos a ella: que en principio es posible conocer agotadoramente los objetos presentes, pasados y futuros, de tal modo que no quede incertidumbre alguna a su respecto. Esta forma estrecha de determinismo se abandonó *de facto*, si no *de iure*, en la segunda mitad del siglo XIX, al aparecer la física de los campos y la física estadística. La primera mostró que es en principio imposible conseguir conocer cada porción de un campo,

porque un campo es un sistema de infinitos grados de libertad. Y la física estadística mostró que el estado de cada partícula en un sistema no puede conocerse de modo completo, aunque no sea más que por su pequeñez y su gran número, por no hablar ya de los movimientos de las partículas. Pero esto se consideró como una limitación práctica del conocimiento, mientras que las limitaciones impuestas por los medios continuos, como los campos, son límites *de iure*, irrebasables por lo tanto. Pero son límites de *experiencia*, límites que la teoría puede rebasar. Así, aunque no podemos tener la ilusión de medir el valor de la fuerza o intensidad del campo en todos los puntos de una región, sí que podemos *calcularlo* con la ayuda de la teoría y de datos bien elegidos. Sólo recordando que el conocimiento empírico no agota el conocimiento científico podemos evitar el ser víctimas del escepticismo completo o del irracionalismo.

En todo caso, igual que hemos abandonado el determinismo ontológico estrecho y hemos adoptado en su lugar una doctrina más rica, así también tenemos que flexibilizar el determinismo epistemológico estrecho y adoptar la hipótesis (filosófica) de la *cognoscibilidad limitada*. Esta versión laxa del determinismo epistemológico admitirá las incertidumbres arraigadas en el azar objetivo y las que son inherentes a nuestra capacidad de conocer. Esta versión del determinismo epistemológico nos obliga exclusivamente a esperar que los efectos del azar (o más bien sus probabilidades) puedan finalmente, calcularse, y que puedan analizarse, calcularse y reducirse en alguna medida las laxitudes objetivas (indeterminaciones) o subjetivas (incertidumbres). El determinismo laxo o general recoge las aportaciones valiosas del indeterminismo, principalmente el reconocimiento de que existe objetivamente el azar en todos los niveles (por tanto, que hay leyes estocásticas) y el reconocimiento de que no es posible ninguna certeza definitiva. Esta doctrina metafísica no se puede hallar en ningún contexto científico por la sencilla razón de que está presupuesta en todos ellos, en la investigación científica: si se elimina la hipótesis de la cognoscibilidad (limitada), se detiene todo motor que lleve a buscar el conocimiento científico; y si se elimina la restricción indicada por la palabra 'limitada' quedan permitidas las investigaciones absurdas, como, por ejemplo, el intentar comunicarse con el pasado o con el futuro. Así pues, el problema epistemológico genuino no es *si* podemos conocer, sino en qué medida conocemos de hecho y en qué medida podemos ampliar las actuales fronteras de lo conocido, recordando siempre que el conocimiento científico, lejos de ser indubitable, es falible.

Según el fenomenismo no podemos conocer más que apariencias: ignoramos lo que puedan ser las cosas en sí mismas, aparte de nuestras relaciones con ellas; además, no tiene interés el intentar llegar a ellas mismas, porque el supuesto de su existencia independiente es una conjetura metafísica sin garantía. El fenomenalismo consigue cubrir una parte del conocimiento ordinario: la que se refiere a la apariencia. Pero la ciencia va más allá de los fenómenos: en otro caso podría ser intersubjetiva (interpersonal), pero no objetiva. En realidad, las teorías científicas, lejos de afirmar relaciones entre predicados fenoménicos, contienen predicados no-fenoménicos; además, la ciencia explica la apariencia sobre la base de hechos objetivos (hipotéticos), y no al revés. Mientras que el fenomenista y el empirista radical tienen que aceptar la proposición "Veo esta noche más estrellas que la noche pasada" como una afirmación última, puesto que expresa una experiencia, el científico intentará explicar esa experiencia, por ejemplo, basándose en las

condiciones atmosféricas. Y supondrá que, las vea o no las vea nadie, las estrellas siguen estando allí, igual las visibles que las que no podemos ver nunca.

Admitido que la ciencia alcanza la cosa misma y no sólo su apariencia para nosotros, ¿hasta qué punto lo consigue? Según el positivismo tradicional, lo que la ciencia alcanza es exclusivamente el comportamiento externo del objeto y sus relaciones externas con otros objetos. Esta tesis, aunque falsa y unilateral, tiene una sana raíz metodológica, a saber, la siguiente regla de método: "Contrastar las hipótesis referentes a la composición y la estructura interna de los sistemas mediante sus manifestaciones externas". La razón de esa regla es, a su vez, la generalización de que la externalización es una condición necesaria, aunque insuficiente, de la observabilidad; dicho de otro modo: no podemos captar la interioridad de una cosa si no se manifiesta, aunque sea muy indirectamente, a nuestros sentidos. Pero eso no debe llevarnos a confundir la referencia de las hipótesis científicas con su contrastación: el comportamiento externo no es la cosa, sino una porción de ella. El comportamiento y la estructura interna no son más que dos aspectos de los sistemas reales; explicamos el comportamiento por la estructura interna y contrastamos las hipótesis sobre la estructura por medio del comportamiento observable. En cuanto a la prescripción relacionalista, debería estar claro que (*i*) salvo en lógica pura, nunca nos limitamos a establecer simples relaciones, y aún menos relaciones entre relaciones, sino más bien relaciones entre variables cada una de las cuales representa un supuesto rasgo objetivo, y (*ii*) un conjunto de sistemas interrelacionados es un sistema de orden superior, de tal modo que las relaciones entre los miembros del último producen la estructura del todo. En resolución, un estudio de relaciones puede ser profundo si lo deseamos.

Pero es claro que si no se busca más que una descripción del comportamiento externo no se conseguirá más que eso. Pero entonces la limitación de nuestro planteamiento no podrá atribuirse al objeto de la investigación, ni tampoco a toda investigación posible. Un planteamiento más profundo –representacional en vez de fenomenológico– puede entonces formularse para buscar las fuentes internas del comportamiento. Este planteamiento se pondrá a sí mismo la tarea de hallar (*i*) las propiedades y relaciones origen del objeto, y (*ii*) las relaciones fundamentales entre esas variables esenciales, o sea, las leyes esenciales del objeto, que dan razón de los mecanismos internos responsables últimos de su comportamiento externo (parcialmente observable). Esas variables-origen y esas relaciones invariantes entre ellas son lo que hoy se entiende por *esencia* de una cosa –en vez de entender por esa expresión alguna especial sustancia nuclear. La ciencia intenta pues descubrir la esencia de las cosas, pero en este sentido más elaborado de 'esencia'. Y seríamos insensatos si proclamáramos en todo momento que se ha capturado de una vez para siempre la esencia de algo: lo que podemos obtener son perspectivas cada vez menos confusas sobre leyes esenciales de diferentes niveles.

En suma, la ciencia presupone que sus objetos son cognoscibles en alguna medida, y reconoce que algunos de los límites puestos al conocimiento se deben a los objetos mismos, mientras que otros son transitorios. A su vez, la posibilidad de conocer algo, posibilidad sostenida por el determinismo epistemológico, se basa en la supuesta determinación del mundo: si los acontecimientos carecieran de todo esquema y no fueran producidos por otros acontecimientos ni dejaran huella alguna, no serían posibles más que impresiones vagas y fugaces. El hecho empírico de que la investigación científica consiga captar

algunos esquemas de determinación en el caótico fluir de las apariencias sugiere y conforma el determinismo ontológico. Las dos ramas de un determinismo laxo –el neodeterminismo ontológico y epistemológico– se sostienen la una a la otra.

5. *Formalismo: la autonomía de la Lógica y la Matemática.* Un buen instrumento no debería alterarse con el uso: de otro modo no habría manera de terminar tarea alguna con su ayuda. La lógica es un tal instrumento de la ciencia: por mucho que cambie la ciencia de la lógica, lo hace siempre internamente o en respuesta a problemas puramente racionales, no en un esfuerzo de adaptarse a la realidad. La lógica es autosuficiente desde los puntos de vista de su objeto y de su método: no tiene más objeto que sus propios conceptos, y sus demostraciones no deben nada a las peculiaridades del mundo. No quiere eso decir que la lógica pertenezca a otro mundo, o sea, que las fórmulas lógicas se encuentren en un reino de ideas platónicas: la lógica es un producto de seres racionales, y desaparecerá con el último lógico (lo cual ha ocurrido ya antes de ahora); pero no se refiere a la realidad. Cualquiera que sea el aspecto del mundo para las sucesivas generaciones de científicos, las verdades lógicas, como "$p \rightarrow (q \rightarrow p)$" y las argumentaciones lógicas, como "$\{p \vee q, -q\} \vdash p$", siguen inmutables porque no tienen contenido factual. Otro asunto es el hecho de que no siempre se les haya reconocido su autosuficiencia, cosa de interés para el psicólogo y para el historiador de la ciencia: lo que aquí se afirma es que las fórmulas lógicas y las argumentaciones lógicas no tienen mas criterio que ellas mismas. Lo mismo puede decirse de la matemática. En resolución: la validez de una ciencia formal es independiente del mundo porque no se ocupa de él. La ciencia factual, cuando utiliza la matemática, plantea *problemas* matemáticos; y la investigación matemática plantea a su vez *problemas* lógicos: pero también este asunto es para el psicólogo y el historiador de la ciencia, además de interesar al metodólogo: el hecho no prueba que la ciencia formal se ocupe del mundo externo, ni que sea lógicamente dependiente de él, sino sólo que la ciencia formal no vive en un mundo aparte, sino que a menudo ocupa el pensamiento de personas interesadas por las ideas y por el mundo. La cosa sería muy distinta si el mundo tuviera propiedades formales; pero sólo pueden tenerlas las ideas, ya sea ideas puras, ya ideas sobre el mundo.

Todas las teorías lógicas contienen –y todas las teorías matemáticas y factuales presuponen de un modo u otro– las leyes de identidad y no-contradicción, así como la regla de separación, o *modus ponendo ponens.* (La ley o principio del tercio excluso no se presenta en la lógica intuicionista, que, en parte por esta razón, no se utiliza en la ciencia. En la lógica ordinaria, esta ley "$p \vee -p$" es equivalente al principio de no-contradicción, de modo que no hay necesidad de mencionarla por sí misma en nuestra discusión.) Supongamos, por arrancar nuestra argumentación, que la ciencia factual no presupusiera esos principios lógicos. Entonces presupondría otros principios lógicos, o no presupondría ninguno. En el primer caso, esos principios serían descubribles mediante el análisis, igual que el análisis del discurso ordinario llevó a la lógica clásica y el del discurso matemático a la lógica simbólica. Y si la ciencia factual no presupusiera ningún principio lógico, podría quedarse tal cual o entablar una investigación empírica en busca de principios propios. En el primer caso, no habría limitación alguna de las formas lógicas ni de las inferencias: todo podría afirmarse (toda serie posible de símbolos podría tomarse como representante de una fórmula bien formada) y todo podría inferirse (cualquier secuencia

de enunciados, aunque fueran lógicamente incoherentes, sería aceptable como argumentación válida). Como éste no es el caso, tomemos la otra posibilidad, a saber, que la ciencia factual emprendiera una investigación propia de la lógica y buscara sus propios principios de razonamiento. ¿Cómo podría conseguirlo? Los conceptos, las funciones proposicionales, las proposiciones, etc. –o sea, los objetos lógicos– no tienen existencia material ni pueden, consiguientemente, ser objetos de experiencia: sólo sus símbolos tienen existencia material, pero son inesenciales, o sea, que pueden cambiarse por otros símbolos cualesquiera sin que cambie lo denotado. La ciencia factual tendría que volverse hacia adentro, tendría que hacer su propio análisis para descubrir los principios lógicos que estuvieran insertos en ella misma. Pero ¿con qué instrumentos procedería a ese análisis, si no es con los instrumentos lógicos que al principio se había negado a presuponer? Por tanto, la ciencia factual tiene que presuponer alguna lógica.

La lógica presupuesta por la ciencia factual no es sino una entre las innumerables teorías lógicas posibles (consistentes): es la llamada lógica *ordinaria* bivalente, o de dos valores. Las demás teorías lógicas son interesantes por sí mismas, pero no se aplican al análisis del discurso científico. No obstante, todas ellas, las teorías lógicas aplicables y no aplicables (o, si se prefiere, aplicadas y no aplicadas hasta ahora), contienen los citados principios lógicos o están construidas de tal modo que esos principios no se conculquen. Supongamos por un momento que la ciencia rechazara esos principios lógicos. Si se abandonara el principio lógico de identidad tendríamos que admitir el milagro de que un enunciado cambiara por sí mismo y fuera incapaz de representar dos veces –en una misma argumentación, por ejemplo– la misma proposición. Si se abandonara el principio de no contradicción, seríamos incapaces de hacer suposiciones determinadas pues podríamos estar afirmando al mismo tiempo sus negaciones. Además, asignaríamos el mismo valor a hipótesis y evidencias contradictorias, y, consiguientemente, el mismo concepto de contrastación perdería interés. Por último, sin la regla de separación o algún principio de inferencia más fuerte, ninguna suposición podría ser fecunda: seríamos incapaces de inferir, o, por lo menos, de convalidar nuestras conclusiones. Por tanto, la ciencia tiene que aceptar de algún modo y en algún lugar esos principios. Importa poco que se formulen como axiomas o como teoremas, o incluso como reglas; y tampoco el que se coloquen en la lógica, en la metalógica o incluso en la matemática pero hay que tenerlos si es que se quiere distinguir entre fórmulas e inferencias correctas e incorrectas. En definitiva: toda la ciencia, factual o formal, presupone un mínimo de principios lógicos, y toda la ciencia formal es lógicamente (no psicológica ni históricamente) independiente de la ciencia factual.

Hay otras hipótesis filosóficas relevantes para la ciencia factual pero no es nuestra tarea (que además sería imposible) examinarlas todas. La intención de este estudio ha consistido en mostrar que la investigación científica presupone lógicamente ciertas hipótesis filosóficas muy amplias: que la ciencia no es filosóficamente neutra, sino partidista. De eso no hay que inferir que la ciencia necesite una sólida *base* filosófica, en el sentido de que se necesite una filosofía para *convalidar* las hipótesis científicas: sería desastroso que se diera una vez más al filósofo la última palabra sobre cuestiones de hecho. No se trata de *basar* la ciencia en la filosofía, ni a la inversa, sino más bien de reconocer que la una no *existe* sin la otra, y que no parece que pueda progresar la una sin el apoyo y la crítica de la otra.

Ningún principio filosófico suministra una justificación concluyente de una hipótesis científica; una hipótesis factual es simplemente no-científica si se maneja como verdadera por razones *a priori* o como irrectificable por la nueva experiencia. En particular, es perder el tiempo el buscar los principios filosóficos que puedan convalidar inferencias científicas no-deductivas, hipótesis metafísicas como "El futuro se parece al pasado", "La naturaleza es uniforme" o "Todo efecto tiene una causa". No es posible convalidar argumentaciones heurísticas esencialmente inseguras, como las inductivas, ni es prudente darles rigidez; y no vale la pena intentar ninguna de las dos cosas, porque las hipótesis inductivamente halladas son superficiales, y el mejor modo de convalidarlas (aunque imperfectamente) consiste en enlazarlas con otras hipótesis. Los varios presupuestos implícitos de la investigación científica no suministran una fundamentación *última* de la ciencia, sino que necesitan ellos mismos apoyo; ¿y cómo pueden justificarse si no es por su capacidad de guiar una investigación afortunada (aunque no infalible) de la verdad?

Aunque la filosofía no puede pretender convalidar las ideas y los procedimientos científicos, puede y debe examinarlos, criticarlos, afirmarlos y proponer y especular otras alternativas posibles. Y si por un lado hace falta una mentalidad científica para darse cuenta de que la mayor parte de la filosofía se encuentra aún en un estadio pre-científico –por expresarnos blandamente– y para formular los desiderata de un filosofar científico, por otro lado hace falta una mentalidad filosófica para darse cuenta de las inevitables debilidades y algunas de las posibilidades inexploradas que presenta la ciencia en cada uno de sus estadios. No hace falta decir que una tal mentalidad filosófica no es propiedad exclusiva de los filósofos; en realidad, todo gran científico tiene una concepción filosófica, aunque sea incoherente, y ha soportado dificultades filosóficas al planear líneas de investigación y estimar sus resultados; esto no puede sorprender, porque un gran científico es una persona que se mueve entre problemas profundos, y los problemas profundos exigen hipótesis profundas, o sea, hipótesis que están de algún modo relacionadas con concepciones filosóficas del mundo y de nuestro conocimiento del mismo.

Atendamos ahora a las hipótesis que, con razón o sin ella, se supone representan esquemas generales, a saber, los enunciados de leyes, o enunciados legaliformes.

Problemas

5.9.1. La mayoría de los científicos no han tenido una educación lógica sistemática: razonan (a menudo incorrectamente) de un modo intuitivo, salvo cuando dan a sus pensamientos forma matemática, en cuyo caso la matemática se ocupa de la coherencia lógica. ¿Prueba eso que la ciencia sea independiente de la lógica? ¿Y prueba que el científico no necesite una educación lógica sistemática? *Problema en lugar de ése*: Los empiristas y los materialistas tradicionales han sostenido que la lógica, lejos de carecer de presupuestos, presupone cierto número de principios tomados de la metafísica, la ciencia, etc., como la hipótesis de la existencia independiente del mundo y la hipótesis de la legalidad de los acontecimientos. Estudiar alguna doctrina de este tipo, como, por ejemplo, el sistema de "lógica material u objetiva" propuesto por J. Venn en *The Principles of Empirical or Inductive Logic*, 2a. ed., Londres, Macmillan, 1907, cap. I.

5.9.2. Algunos filósofos, señaladamente Hegel y sus seguidores, han rechazado las leyes lógicas de identidad y no-contradicción arguyendo que no explican ni permiten el cambio. Examinar ese argumento. Para una crítica de la creencia en que la lógica presenta compromisos ontológicos cf. E. Nagel, *Logic Without Metaphysics*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1956, cap. 1. *Problema en lugar de ése*: Discutir los principios filosóficos y heurísticos estudiados por el físico J. A. Wheeler en "A Septet of Sibyls: Aids in the Search for Truth", *American Scientist*, *44*, 360, 1956.

5.9.3. ¿Está alguna de las cinco hipótesis filosóficas tratadas en el texto no sólo presupuesta, sino también corroborada por la investigación científica? *Problema en lugar de ése*: ¿Son contrastables las hipótesis filosóficas? Si lo son, ¿cómo? En particular: ¿cómo podríamos contrastar hipótesis ontológicas referentes al cambio?

5.9.4. Buscar más presupuestos filosóficos de la ciencia. *Problema en lugar de ése*: ¿Es verdad que la física moderna nos obliga a considerar 'realidad' y sus palabras emparentadas como términos vacíos?

5.9.5. T. Goudge, en *The Ascent of Life*, Toronto, University of Toronto Press, 1961, pp. 155ss., cita como metafísicas las siguientes presuposiciones de la teoría de la evolución (*i*) "Hay un efectivo pasado evolutivo que puede conocerse científicamente, pero nunca observarse." (*ii*) "'Los objetos llamados fósiles son restos de la evolución' es una afirmación verdadera." (*iii*) "Los factores y las leyes de las que hoy sabemos que son eficaces en el dominio biológico lo fueron durante toda la historia de la vida o durante su mayor parte." ¿En qué sentido son metafísicas esas hipótesis? *Problema en lugar de ése*: Discutir la influencia de la ontología mecanicista en la biología y la psicología –en el tipo de problemas que se plantearon esas disciplinas– a partir del siglo XVII.

5.9.6. G. Schlesinger, en *Method in the Physical Sciences*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1963, p. 46, sostiene que "el principio de microrreducción ("Las propiedades de los sistemas físicos tienen que explicarse por las de sus partes, y no a la inversa") es injustificable, pues no es más que un prejuicio que supone una parcialidad en favor de un método que no es objetivamente superior a su opuesto desde ningún punto de vista". Discutir esa afirmación en relación con la física del estado sólido, la biología molecular o la biopsicología.

5.9.7. Los sostenedores más extremistas de la llamada interpretación de Copenhague (o interpretación ortodoxa) de la mecánica de los quanta sostienen que ésta establece la imposibilidad de separar claramente el objeto investigado del observador; algunos llegan hasta a afirmar que la teoría establece la primacía del espíritu sobre la materia. Si eso fuera verdad, ¿podría distinguirse la investigación física de la psicológica? Véase una muestra en E. P. Wigner, "Remarks on the Mind-Body Question", en I. J. Good (ed.), *The Scientist Speculates*, Londres, Heinemann, 1962, p. 285: "no ha sido posible formular las leyes de la mecánica de los quanta de un modo plenamente consistente sin referirse a la consciencia. Todo lo que afirma suministrar la mecánica de los quanta son conexiones de probabilidad entre impresiones sucesivas (también llamadas "apercepciones') de la consciencia, y aunque la línea divisoria entre el observador cuya consciencia queda afectada y el objeto físico observado puede desplazarse hacia una o hacia otro en medida considerable, no puede, de todos modos, eliminarse". Puede verse una crítica de estas opiniones en M. Bunge, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.

5.9.8. El mecanicismo puede ser ontológico o metodológico. El *mecanicismo ontológico* sostiene que toda la realidad es exclusivamente (o al menos básicamente) física. *El mecanicismo metodológico* (mejor llamado *fisicismo*) es la estrategia que consiste en aplicar los métodos y las teorías de la física y de la química a la biología en la medida de lo posible y sin entrar en compromisos ontológicos. ¿Cuál de las dos clases de mecanicismo –si lo es alguna– es favorecida por la biología? ¿Puede alguno de esos tipos de mecanicismo ampliarse a la psicología o la sociología? *Problema en lugar de ése*: Examinar y ejemplificar los conceptos de emergencia y de nivel de organización. Véase D. Blitz, *Emergent Evolution*, Dordrecht, Kluwer, 1992.

5.9.9. El individualismo filosófico, como el mecanicismo, puede ser ontológico o metodológico. El *individualismo ontológico*, o nominalismo, sostiene que no hay más que individuos, y no totalidades ni clases. El *individualismo metodológico* dice sólo que las totalidades pueden entenderse analizándolas en sus partes; por ejemplo, que las tendencias sociales tienen que analizarse como resultado de la acción de los grupos, y la acción de los grupos tiene que analizarse a su vez en acciones individuales. ¿Se utiliza en la ciencia el individualismo de una clase u otra? ¿Y nos obliga el individualismo metodológico a abandonar la investigación, por ejemplo, de las leyes sociales en su propio nivel? *Problema en lugar de ése*: Examinar el sistemismo como alternativa tanto al individualismo como al holismo. Cf. M. Bunge, *A World of Systems*, Dordrecht, Reidel, 1979; *Sistemas sociales y filosofía*, Buenos Aires, Sudamericana, 1995; *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998 [*Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana, 1999].

5.9.10. Uno de los supuestos filosóficos insertos en la ciencia es que los objetos materiales de escala macroscópica subsisten entre dos observaciones. La experiencia no puede suministrar prueba alguna de ese principio: sólo podrá apoyarse en evidencia indirecta, así como en la falta de fundamento de la hipótesis contraria. ¿Se sigue de ello que la hipótesis en cuestión no es más verdadera que la contraria, o sea, la que dice que los objetos materiales dejan de existir cuando no son observados, o que se transforman en objetos de clase completamente distinta a menos que tengamos la vista fija en ellos? Si esto fuera verdad, sólo podríamos mantener la hipótesis de la persistencia de los objetos estipulando que hay que elegir la hipótesis más simple, estipulación que es tan poco empírica como la hipótesis que pretende salvar. Así, por ejemplo, escribía B. Russell en *Human Knowledge: Its Scope and Limits*, Londres, George Allen and Unwin, 1948, p. 343: "Supongamos que fuéramos a formular la hipótesis de que las mesas, cuando nadie las mira, se convierten en canguros; esto complicaría mucho las leyes de la física, pero ninguna observación podría refutarlo. Las leyes de la física, en la forma en que las aceptamos, no sólo tienen que estar de acuerdo con la observación, sino que, además, por lo que hace a lo no observado, tienen que poseer ciertas características de simplicidad y continuidad que no son empíricamente demostrables". ¿Es éste un callejón sin salida?

BIBLIOGRAFÍA

Bernard, C., *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* [1865], París, Charles Delagrave, 1952.

Beveridge, W.I.B., *The Art of Scientific Investigation*, Nueva York, W. W. Norton and Co., 1950, cap. IV.

Bunge, M., *Intuición y razón*, Buenos Aires, Sudamericana, 1996.

——, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., 1963, caps. 4-8, 9 y 10.

——, "Phenomenological theories", en M. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, Nueva York, The Free Press, 1964.

——, *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.

——, *A World of Systems*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1979.

Duhem, P., *La théorie physique*, parte II, cap. VII, 2a. ed., París, Rivière, 1914.

Hanson, N. R., "The Logic of Discovery", *Journal of Philosophy*, LV, 1073, 1958. Crítica de D. Schon, *ibid.*, LVI, 500, 1959, y réplica de Hanson, *ibid.*, LVII, 182, 1960.

Naville, E., *La logique de l'hypothèse*, París, Alcan, 1880.

Popper, K. R., *Conjectures and Refutations,* Nueva York, Basic Books, 1962, caps. 1 y 8.
——, *La lógica de la investigación científica,* Madrid, Tecnos, 1962.
Schiller, F.C.S., "Hypothesis', en S. Singer (ed.), *Studies in the History and Method of Science,* Oxford, Clarendon Press, 1921, vol. II.
Whewel, W., *Novum Organum Renovatum*, 3a. ed., Londres, Parker, 1858.
Wilson, E.B., *An Introduction to Scientific Research,* Nueva York, McGraw-Hill, 1952, 7.5.
Woodger, J.H., *Biology and Language,* Cambridge, Cambridge University Press, 1952, Lect. I, sec. 1, y Lect. II, sec. 1.

6. LEY

Una ley científica es una hipótesis de una clase especial, a saber: una hipótesis confirmada de la que se supone que refleja una pauta objetiva. El lugar central de las leyes en la ciencia se reconoce al decir que el objetivo capital de la investigación científica es el decubrimiento de pautas o regularidades. Las leyes condensan nuestro conocimiento de lo actual y lo posible; si son profundas, llegarán cerca de las esencias. En todo caso, las teorías unifican leyes, y por medio de las teorías –que son tejidos de leyes– entendemos y prevemos los acontecimientos.

6.1. VARIABLES E INVARIANTES

La variedad y el cambio son hechos que lo penetran todo en el mundo. Además, el cambio se debe a la variedad, y la variedad es a su vez simplemente el resultado del cambio. Es probable que ningún par de cosas ni de acontecimientos sea idéntico o permanezca idéntico consigo mismo en todos los respectos, en todos los detalles y para siempre. Es posible que la identidad estricta no sea cosa del mundo real; la identidad en todos los respectos, entre cosas coexistentes o entre cosas sucesivas, es una hipótesis simplificadora, una hipótesis sin la cual no sería posible la ciencia. Si dos objetos reales (cosas o acontecimientos) parecen exactamente iguales o no parecen cambiar ni estar a punto de cambiar, en un respecto al menos, podemos suponer que esa apariencia que se nos muestra es falsa.

Más precisamente, podemos formular las siguientes hipótesis: (*i*) que la identidad empírica resulta de una insuficiencia para percibir diferencias reales, aunque sutiles, entre objetos coexistentes o sucesivos, y (*ii*) que nuestro error podrá finalmente corregirse mediante una observación más fina y un análisis más profundo. Esos dos supuestos son metodológicos más que científicos o metafísicos, y se entienden como aplicables no sólo a acontecimientos a gran escala (por ejemplo, históricos), sino también a objetos atómicos. Estos últimos difieren entre sí al menos por lo que respecta a su posición en los varios campos en que se encuentran, lo cual es un modo indirecto de decir que difieren por lo menos en cuanto a las interacciones en que se encuentran con el resto del universo.

La afirmación de que todo objeto real es único e irrepetible en todos los respectos no es una hipótesis científica, sino metafísica (ontológica). Pero es una hipótesis fundada, no arbitraria. Sin duda no queda confirmada por la práctica científica, la cual supone un intencionado desdibujamiento de distinciones menores con objeto de sacar a primer término la igualdad esencial de todos los miembros de una clase natural. Pero puede justificarse mediante un análisis científico (físico, por ejemplo) de los sistemas reales, análisis que muestra que incluso las partículas llamadas indistinguibles, como los electrones de un gas de esas partículas, son diferentes en algunos respectos: si no lo fueran, no po-

dríamos averiguar que son objetos distintos, y, consiguientemente, no podríamos tampoco contarlos (como lo hacemos de un modo indirecto). En este contexto 'indistinguibilidad' e 'identidad' no son sinónimos, y el primer término significa simplemente falta de individualidad. (Por ejemplo, se pueden intercambiar dos electrones en un sistema sin que cambien ni el sistema ni siquiera su estado; los electrones son intercambiables aunque no son idénticos.)

*Como consecuencia de ello rechazamos el principio leibniziano de la *identidad de los indiscernibles,* cuyo alcance es demasiado corto: no podemos basarnos en nuestra incapacidad de distinguir entre dos objetos –incapacidad que puede ser transitoria– para inferir su identidad. Aceptamos en cambio el principio inverso de la *indiscernibilidad de los idénticos*: si dos objetos son idénticos, entonces son indiscernibles. (Simbólicamente: $x = y =_{df} (P)\ [P(x) \leftrightarrow P(y)]$.) Este principio vale de modo no-vacío para objetos conceptuales; y vale de modo vacío para objetos materiales, porque la condición no se cumple en este caso nunca con exactitud. En el mundo real la identidad es siempre parcial, y nuestro principio de unicidad de todo existente sólo admite la *identidad parcial,* la identidad en un respecto al menos, y la *identidad aproximada,* que es la identidad en todos los respectos menos uno. La identidad parcial es la base de las clasificaciones, las generalizaciones y las leyes que expresan los esquemas, estructuras o invariantes de las cosas y los acontecimientos, prescindiendo de la variedad y el cambio. La identidad estricta es una ficción indispensable.*

Consideremos un sistema de átomos de la misma especie química, por ejemplo, de helio, todos los cuales se encuentren en el mismo estado, por ejemplo, el estado fundamental de energía. Esos objetos serán entonces idénticos desde los puntos de vista de la especie química y del estado: las dos propiedades serán en ese contexto *constantes,* no variables. Pero habrá diferencias entre esos átomos por lo demás idénticos; por ejemplo, ninguno tendrá exactamente la misma posición en el espacio que otro. Dicho de otro modo: la posición es una *variable* que puede tomar cierto número de valores, y, de hecho, una infinidad no-numerable de ellos. En principio, cada uno de esos objetos –y, en general, toda cosa y todo acontecimiento– puede caracterizarse de un modo total especificando los valores de algunas de las variables que representan sus propiedades; en primer lugar, pero no exclusivamente, la posición en el espacio-tiempo respecto de algún marco de referencia. Una tal caracterización completa o *identificación de* (no 'con') un objeto real queda muy lejos del agotamiento de las propiedades del objeto, del mismo modo que la documentación de identidad de una persona no suministra el conocimiento de su personalidad. *Así pues, la posibilidad de identificar y nombrar objetos reales mediante la especificación de los valores de algunas de sus variables no significa que los objetos reales no *sean* más que haces de propiedades. En realidad, toda propiedad dada en el mundo real es propiedad *de* algo. Así, si escribimos meramente 'M' para significar la masa, el contexto deja fuera de duda que estamos hablando de la masa de una cosa de alguna clase, de tal modo que nuestra primera tarea en un análisis lógico será explicitar la variable de objeto, o sea, escribir '$M(x)$' en vez de 'M' (análisis sintáctico) e indicar cuál es el dominio de individuos que constituye el campo de variabilidad de x (análisis semántico). La eliminación de los objetos físicos en favor de haces de propiedades –como han propuesto algunos filósofos– se debe a una deficiencia del análisis lógico de las propiedades

que se presentan en la ciencia, todas las cuales contienen variables de objeto, aunque normalmente no se mencionen de un modo explícito.*

La hipótesis de que no hay en el mundo dos objetos idénticos en todos los respectos, en todos los detalles y para siempre puede reformularse del siguiente modo: Dados dos objetos reales cualesquiera, existe al menos una variable que no tiene exactamente el mismo valor para los dos. Este principio es, desde luego, irrefutable. Lo formulamos simplemente porque tiene fundamento y es fecundo: mueve al científico a buscar la diversidad por debajo de la identidad aparente. Pero también postulamos esta otra hipótesis ontológica: Dados dos objetos reales cualesquiera, hay al menos una variable uno de cuyos valores es común a ambos. Si todo objeto real fuera enteramente diferente de cualquier otro objeto real, o sea, si todas las clases fueran conjuntos-unidad, sería imposible la ciencia, y el concepto de variable sería además inútil: bastarían los nombres propios para toda identificación.

El concepto de variable nos permite discriminar cuidadosamente la diversidad y descubrir y explicitar la identidad parcial: sirve tanto para dar razón de la variedad y el cambio cuanto para dar cuenta de los esquemas de variación y de cambio. La siguiente suposición metafísica que consideramos, a saber, que la variedad y el cambio no son ni ilimitados ni caóticos, es el supuesto de que existen relaciones constantes entre ciertas variables, o sea, que existen leyes. Pero antes de acercarnos al concepto de ley será conveniente examinar algo más el concepto de variable. El término 'variable' abarca toda una familia de conceptos. Común a todos los miembros de esa familia es que la variable puede tomar al menos un valor determinado (fijado, particular).

En lógica nos interesan esencialmente tres clases de variables: variables proposicionales, variables individuales y variables predicativas. Las *variables proposicionales* son símbolos que denotan proposiciones cualesquiera, indeterminadas, o esquemas cuyos valores son proposiciones determinadas. Así, en "$p \rightarrow q$" las variables proposicionales p y q no representan proposiciones dadas, sino proposiciones cualesquiera: toda fórmula cubre una infinidad de proposiciones. Las *variables individuales o de objeto* son símbolos que denotan individuos indeterminados, como la 'x' de la fórmula "x es largo" y "la longitud de x es y cm". Estas variables se llaman individuales porque su campo de variabilidad consta de individuos: representan individuos sin especificar de un conjunto. Las variables numéricas, que son una subclase de las variables individuales, son símbolos que designan elementos de un conjunto de números. Por último, las *variables predicativas* son símbolos que designan propiedades indeterminadas o inespecificadas, ya sean de individuos –como en "P(137)" –ya de otras propiedades– como en "P (propiedades mecánicas)". Para evitar absurdos y paradojas (por ejemplo "¿Qué dureza tiene la dureza?") se conviene en que todo predicado tiene que predicarse sólo de una variable de *orden inferior*: así tenemos toda una jerarquía de variables: predicados de primer orden, que designan propiedades de individuos; predicados de segundo orden, que designan propiedades de propiedades de primer orden, y así sucesivamente. Por tanto, 'más duro que' es un predicado de primer orden, mientras que 'asimétrico', que se predica de 'más duro que', es un predicado de segundo orden.

Toda fórmula científica se analiza o puede analizarse en una función proposicional, o sea, como una determinada combinación de variables de varios órdenes. Así, por ejemplo, "Se aprecian gérmenes letales en el fenotipo" es una fórmula de primer orden, o sea,

una fórmula que predica algo de individuos; en cambio, "El centro de masa es una propiedad no-distributiva (no-hereditaria)" es una fórmula de segundo orden. En resolución: por lo que hace a su estructura lógica, toda fórmula científica es una *fórmula del cálculo de predicados*. La situación se presenta como si la teoría lógica hubiera estado "siempre" esperando que se la rellenara con un contenido factual. Pero esto no es más que una manera de decir: no hay tal "siempre" para las ideas; por lo demás, las fórmulas lógicas son invariantes respecto de los cambios de interpretación de las mismas. Por otra parte, en la ciencia factual no nos interesan las variables en general, sino ciertas variables y ciertas relaciones concretas entre ellas. Distinguiremos las siguientes clases de variables extralógicas (factuales):

1. *Variables cualitativas,* o predicados dicotómicos, como "sólido". Toda cosa en un determinado instante está en estado sólido o no está en él lo que justifica el nombre 'variable dicotómica'. Pero, desde luego, si estamos precisamente estudiando sólidos, no nos interesamos por los cuerpos que no lo son, y así "sólido" se convierte en una constante. Las variables cualitativas no se presentan sólo en la ciencia factual, sino también en la matemática. Así, cuando consideramos el conjunto de todos los triángulos planos estamos efectivamente usando la noción de una variable cuyo campo es un conjunto de esa naturaleza: tal es, en efecto, el caso de cualquier frase que empiece así: 'Consideremos un triángulo plano cualquiera...'

2. *Variables ordinales,* como "dureza" y "cohesión de un grupo social". Los valores de las variables ordinales pueden ordenarse, pero las variables mismas no pueden someterse a operaciones aritméticas como la adición. Así, por ejemplo, si hemos estimado el valor placentero de tres caramelos asignando a cada uno un número entre 1 y 3, podemos resumir el resultado de esa operación ordenadora con el obvio enunciado "3 > 2 > 1", que consideraremos como abreviación de "El caramelo número 3 es mejor que el número 2, el cual es mejor que el número 1". Pero eso no nos autoriza a inferir que el caramelo número 3 es tres veces mejor que el número 1, o una vez y media mejor que el número 2: esto sólo mostraría que confundimos una variable ordinal con una variable cardinal. (Volveremos a hablar de esto en la sección 13.1.)

3. *Variables cardinales*, o *magnitudes,* o, simplemente, *cantidades,* como la dimensión (numerosidad, cardinalidad) de una población, o la fuerza de un hábito. Las magnitudes se llaman también variables numéricas, porque su campo de variabilidad es un conjunto de números; pero este nombre es equívoco, porque las variables numéricas son una componente de las magnitudes. En realidad, la estructura de la magnitud más simple es "$P(x) = y$", con 'x' para designar la variable individual, 'y' para designar la variable numérica. Las variables numéricas de las magnitudes pueden someterse a operaciones matemáticas, pero con restricciones, así, podemos sumar las poblaciones de dos ciudades, pero no sus densidades de población.

Necesitamos tres conceptos más para caracterizar el de ley: son los de variable independiente, variable dependiente y parámetro. En una expresión como

$$y = mx + n \qquad [6.1]$$

'x' e 'y' suelen llamarse, respectivamente, la *variable independiente* y la *variable depen-*

diente, mientras que '*m*' y '*n*' son *parámetros*. La distinción entre variable dependiente y variable independiente es contextual y, más precisamente, relativa a la fórmula en la cual se presentan las variables. Toda función explícita que expresa y mediante x puede, en ciertas condiciones, invertirse para que dé x sobre la base de y; así, por ejemplo, [6.1] equivale a "$x = y/m - n/m$". En la ciencia, la variable independiente es a menudo (aunque no siempre) la *variable de control*, o sea, la variable a la cual pueden atribuirse valores (o cambiarlos) a voluntad dentro de ciertos límites. Esta distinción pragmática tiene una raíz ontológica: los cambios en los valores de la variable de control suelen llamarse *causas*, mientras que cambios resultantes para los valores de la variable dependiente se llaman *efectos*. Por ejemplo, al variar el volumen de nuestro aparato receptor de radio (causa) podemos molestar a nuestros vecinos todo lo que queramos (efecto). Por último, se da el nombre de parámetro a una variable cuyo valor no cambia porque cambien los valores de las demás variables; en el anterior ejemplo, m y n son parámetros porque sus valores se asignan independientemente de los de x e y. Dicho de otro modo: los parámetros son variables que en un contexto dado quedan congeladas.

Para todo par de valores de m y n, salvo el caso trivial $m = n = 0$, la función $y = mx + n$ puede considerarse como la representación analítica de una recta infinita del plano de coordenadas (x, y). Si m y n pueden tomar valores diferentes, conseguimos un conjunto infinito de tales rectas: cada miembro de este conjunto puede entenderse como la ley de un individuo (cf. fig. 6.1). La relación lineal [6.1] puede interpretarse del modo siguiente: "Para cada par $\langle m, n \rangle$, cualquier valor dado de y se relaciona con el valor correspondiente de x del modo: $y = mx + n$". Se trata de una función proposicional con las variables numéricas m, n, x e y, con m y n ligadas por cuantificadores universales, y x e y libres, o sea, especificables de cualquier modo.

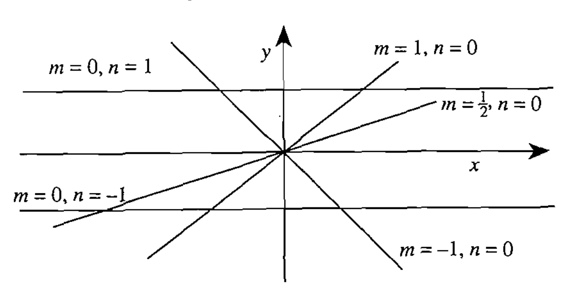


FIGURA 6.1. La función lineal [6.1] representa un conjunto infinito de rectas de un plano.

Hasta este punto [6.1] no es una ley científica, sino un hueco o *esquema* de una ley científica, porque las variables que se presentan en ella no tienen sino una interpretación aritmética. Sólo si se *interpretan* al menos las variables propiamente dichas (x e y), y no sólo como números cualesquiera (lo cual son ya), sino como variables numéricas de *propiedades* de algún sistema real, [6.1] puede convertirse en una ley científica. Son posibles interpretaciones en número ilimitado de cualquier esquema de ley; algunas serán verdaderas, otras serán falsas, otras carecerán de sentido en un contexto dado. Dicho de otro modo: todo esquema de ley puede recibir una infinidad potencial de interpretaciones factuales.

Una interpretación posible de [6.1] es la determinada por las siguientes reglas semánticas: 'y' designa el valor numérico que caracteriza las posiciones sucesivas de un punto de masa en movimiento libre; 'x' la duración del movimiento a partir de un comienzo convencional (tiempo cero, o sea, $x = 0$), 'm' la velocidad inicial y 'n' la posición inicial. Usando los términos corrientes, que sugieren esa interpretación del esquema de ley [6.1], tenemos

$$s(t) = vt + s_0 \qquad [6.2]$$

(Hemos escrito '$s(t)$' para expresar la distancia con el fin de indicar que ésta es función del tiempo t.) Esta ley, una de las leyes cuantitativas más simples, presenta con claridad el rasgo principal de toda ley, a saber, el ser una *relación constante* entre dos o más variables que se refieren a su vez (por lo menos parcial e indirectamente) a *propiedades de objetos reales*. La constancia consiste en que la particular relación (lineal) entre la distancia y el tiempo no cambia ni en el tiempo ni para individuos diferentes (especificados por valores determinados de los parámetros v y s_0).

La fórmula [6.9] es una *ley general,* puesto que no están especificados los valores de los parámetros v y s_0 que se presentan en ella. Podemos formar infinitos pares de valores numéricos $\langle v, s_0 \rangle$ de los parámetros, un par para cada *posible* punto de masa en movimiento libre. Por tanto, [6.2] subsume una *infinidad de leyes especiales.* Además, puesto que los parámetros indicados tienen como campo de valores los números reales y éstos constituyen un continuo, el conjunto de leyes especiales condensado por [6.2] es *un conjunto infinito no-numerable de leyes especiales.* Esto es característico de todas las leyes generales cuantitativas: esas leyes no sólo abarcan una infinidad de individuos, sino también una infinidad de circunstancias.

Esas infinidades serían superfluas en el caso de una generalización empírica del tipo considerado en la lógica inductiva, puesto que la experiencia no puede dar más que un número finito de datos. Las leyes no son resúmenes de experiencias: las leyes tienden a reconstruir esquemas o estructuras de carácter objetivo, y esta referencia objetiva, este apuntar a una realidad más allá de la experiencia, requiere la introducción de infinidades. En realidad, una ley como [6.2] especifica cuáles son los movimientos físicamente *posibles* de una determinada clase; al mismo tiempo rechaza por *imposible* todo movimiento de ese mismo tipo que consumiera, por ejemplo, menos tiempo del que ella prescribe. En general, todo enunciado legaliforme especifica una clase de *hechos posibles*; el complemento de ese conjunto es la clase de los hechos lógicamente posibles y físicamente imposibles (cf. fig. 6.2). Ambos conjuntos, el de los hechos posibles y el de los imposibles, pueden ser infinitos. Toda ley que incluya variables numéricas excluye o "prohíbe" muchos más hechos que "permite"; cuanto más fuerte es la "prohibición", tanto más limitada es la clase de los hechos posibles. Pero esas "prohibiciones" tienen que entenderse, como es natural, en sentido metafórico: las leyes no imparten órdenes a los hechos.

Los valores de las propiedades relacionadas por una ley pueden ser distintos de un individuo a otro y de un momento a otro. Así, por ejemplo, un embrión en desarrollo –proceso único que no se repetirá nunca de un modo exactamente igual– tiene un determinado tamaño para cada edad; pero para todos los miembros de una especie dada, se supone que la *relación* tamaño-edad es la misma, al menos por término medio, aunque no se

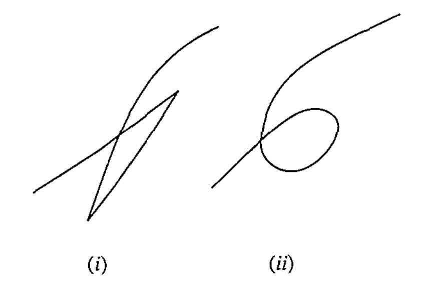


FIGURA 6.2. Las leyes como restricciones de posibilidades lógicas: (*i*) un movimiento imposible para un avión que vuele a velocidad constante; (*ii*) un movimiento posible para ese mismo objeto.

conozca exactamente la función específica que relaciona ambas variables. Esto quiere decir que formulamos el siguiente esquema legaliforme: "Para todo x, si x es un embrión en desarrollo de una especie dada, entonces el volumen de x en el momento t es una función definida de t". (Simbólicamente $(x)[E(x) \,\&\, S(x) \rightarrow (V(x, t) = F(t))]$.) A diferencia de lo que hacíamos al principio del caso anterior, ahora hemos tenido cuidado de indicar la variable individual; en cambio hemos dejado sin especificar la función F. Es difícil que algún trabajo de embriología contenga formulaciones plenas de esquemas legaliformes, como es plena la formulación anterior: generalmente el embriólogo escribirá sólo el *consecuente* de dicho condicional, y pasará por alto la variable individual x, o sea, que escribirá: "$V = F(t)$" para expresar la relación entre los valores numéricos del volumen y la edad, y afirmará con palabras del lenguaje común que se supone que ese esquema vale para todo momento y para todo miembro del conjunto de los embriones en desarrollo de una especie dada. Ese olvido del antecedente y de la variable individual queda justificado por razones prácticas, pero puede dar lugar a equívocos.

Obsérvese que nuestro esquema legaliforme no afirma que todos los embriones tengan el mismo tamaño inicial, ni tampoco, por tanto, que tengan todos el mismo tamaño a la misma edad: pues, por lo que sabemos hoy día, no hay dos huevos fecundados que tengan exactamente el mismo número de moléculas. O sea: nuestro esquema legaliforme no es del tipo "Siempre que ocurre A ocurre B", en el cual 'A' y 'B' designan casos particulares. Esas generalizaciones son más propias del conocimiento ordinario que de la ciencia. Las leyes científicas no afirman conjunciones de hechos, sino relaciones entre rasgos (variables) seleccionados; y tampoco afirman la igualdad entre individuos, sino la invariancia de ciertas relaciones, independientemente de los cambios que pueda haber en los valores de las variables individuales. En particular, un enunciado legaliforme que suponga tiempo no tiene por qué ser una ley de recurrencia: los esquemas recurrentes no son más que una subclase propia de los esquemas en general. Todo lo que afirma una ley científica es que hay diferencias individuales que cumplen en ciertos respectos ciertos esquemas o ciertas estructuras. Dicho brevemente: una ley es una esquema de variedad y cambio.

Terminamos esta sección con una caracterización del concepto de ley científica, caracterización que será afinada más tarde: Una ley científica es una hipótesis científica confirmada que afirma una relación constante entre dos o más variables, cada una de las cuales representa (al menos parcial e indirectamente) una propiedad de sistemas concretos.

Problemas

6.1.1. ¿Qué diferencia hay entre una caracterización total y un conocimiento que agote su objeto? *Problema en lugar de ése*: Un punto en el espacio-tiempo se caracteriza o identifica mediante un cuádruplo ordenado de números reales. ¿Implica esto una confusión de objetos concretos y objetos abstractos?

6.1.2. Examinar el enunciado 'un cambio Δy de la variable dependiente corresponde a un cambio Δx de la variable independiente'. ¿Se está pensando al decir eso en cambios de las variables o más bien en diferencias en los valores de las variables? *Problema en lugar de ése*: Examinar la afirmación de Kant según la cual las propiedades de las cosas no pertenecen a las cosas mismas, sino a su apariencia para nosotros. Cf. sus *Prolegomena,* 1783, especialmente la sección 12, Observación II.

6.1.3. Comentar el siguiente fragmento de un trabajo de A. Rapoport en L. Gross (ed.), *Symposium on Sociological Theory,* Evanston, Ill., Row, Peterson and Co., 1959, p. 351: En la sociología, el proceso de selección de las variables "es tan laborioso y complicado que frecuentemente constituye el núcleo esencial del esfuerzo del científico social, de tal modo que pocas veces llega a formular 'postulados'. Primero tiene que referir sus términos a correlatos. Pero estos correlatos no pueden exhibirse simplemente; tienen que abstraerse ellos mismos a partir de una rica variedad de acontecimientos, generalizaciones y relaciones. Cuando se ha abstraído y designado un número apreciable de esos correlatos, uno se encuentra ya ante un 'sistema' voluminoso, antes siquiera de que haya empezado el trabajo de buscar 'leyes'. A veces, especialmente en sociología, esos 'sistemas' se toman por 'teorías.'"

6.1.4. Tomar cualquier forma matemática (función, ecuación, etc.) distinta de [6.1] e interpretar los símbolos que contenga de dos modos distintos, para obtener dos posibles enunciados legaliformes. *Problema en lugar de ése*: Analizar el enunciado legaliforme: "El momento total de un sistema de partículas sometidas a fuerzas no-friccionales se conserva (constante en el tiempo)". Simbolizarlo teniendo cuidado de identificar la variable individual (que en este caso es una cifra) y de formular el antecedente del condicional.

6.1.5. Examinar el modo como B. Russell –*An Inquiry into Meaning and Truth,* Londres, George Allen and Unwin, 1940, cap. VI– "suprime los particulares" sustituyéndolos por universales platónicos. En particular, examinar la afirmación de que "siempre que para el sentido común hay una 'cosa' que posee la cualidad *C*, diremos en vez de ello que existe *C* misma en ese lugar, y que la 'cosa' debe sustituirse por una colección de cualidades que existen en el lugar en cuestión. De este modo, '*C*' deja de ser un predicado y se convierte en un nombre" (p. 98).

6.1.6. La mayoría de las generalizaciones de la sociología y la historia se refieren a hechos sin analizar: expresan relaciones entre acontecimientos, no relaciones entre propiedades indicadas por variables más o menos complicadas (no-observacionales). ¿Puede eso explicar la inmadurez de dichas disciplinas? *Problema en lugar de ése*: Varios filósofos de la ciencia piensan que no hay diferencia esencial entre una generalización de sentido común, de la forma "Siempre que ocurre *A* ocurre *B*" y una ley científica. ¿Puede esto explicar parcialmente la inmadurez de la filosofía de la ciencia?

6.1.7. Cuando los físicos afirman que las llamadas partículas elementales (por ejemplc, los electrones) son idénticas o indistinguibles, ¿piensan que (*i*) no son objetos objetivamente distintos, o que (*ii*) aunque tal vez sean objetivamente distintos no tenemos medios para distinguir entre ellos, o que (*iii*) son distintos, pero pueden intercambiarse sin que el sistema en su conjunto (del cual forman parte) sufra cambio alguno? *Problema en lugar de ése:* Examinar la opinión de K. Popper, según la cual cuanto más prohíbe el enunciado de una ley tanto mayor es su contenido. Estudiar el caso de las leyes estocásticas (probabilistas) y el caso de una región imaginaria en la que valiera la ley "Nada cambia", o sea, en la que todo cambio estuviera "prohibido".

6.1.8. Estudiar la explicación bioquímica y la explicación genética de la unicidad del individuo.

6.1.9. ¿Qué interés tendría el buscar leyes (*i*) si no hubiera en realidad ni variedad ni cambio, como pensaba Parménides, o (*ii*) si no supusiéramos la existencia de relaciones constantes entre relata variables, o (*iii*) si no tuviéramos formado de algún modo el concepto de relación constante o el de invariante de una transformación, o (*iv*) si la individualidad fuera incompatible con la pertenencia a una clase?

6.1.10. La idea de ley de la naturaleza fue concebida por unos cuantos pensadores de la Antigüedad y de la Edad Media, pero no llegó a imponerse hasta la época de Descartes, aproximadamente. La evolución del concepto de ley estuvo visiblemente correlatada con la del concepto de constricción social, pero se sabe poco sobre esto. Esbozar la evolución probable del concepto de ley de la naturaleza desde la Antigüedad hasta nuestra época. Pueden verse perspectivas interesantes en E. Zilsel, "The Genesis of the Concept of Physical Law", *Philosophical Review*, 51, 245, 1942, y J. Needham, *Science and Civilization in China*, Cambridge University Press, 1956, vol. II, cap. 18. *Problema en lugar de ése*: Examinar la doctrina según la cual el objetivo de la ciencia es la reducción del cambio aparente y la aparente diversidad a una identidad y una permanencia esenciales. ¿Qué presupone esa idea respecto de la relación entre la diversidad y la unicidad? ¿Y a qué noción de explicación lleva esa tesis? Cf. E. Meyerson, *Identité et realité*, París, Alcan, 1908.

6.2. LA BÚSQUEDA DE LEYES

Las leyes científicas no correlatan a la vez todos los aspectos posibles sino sólo un número finito de variables seleccionadas. (No obstante, una ley puede contener una infinidad de variables de una determinada clase.) Lo que determina cuáles son los rasgos o variables que hay que seleccionar en la búsqueda de la ley es ante todo nuestra concepción del tema, ya sea general, ya específica del mismo. La visión democrítea del mundo sugiere que, excepto en las ciencias del hombre, las propiedades secundarias (las cualidades sensibles) no son lo que realmente importa, y que, por tanto, en las ciencias naturales debemos seleccionar propiedades primarias, como la longitud de onda (por ejemplo) más que propiedades secundarias, como el color (en el mismo ejemplo). La física ha necesitado mucho tiempo para descubrir un haz de variables fundamentales –y, por tanto, trasfenoménicas– como "masa", "carga eléctrica" o "intensidad de un campo". La causa de ese retraso es clara: la física intenta dar razón de propiedades observables sobre la base de variables objetivas y fundamentales que rara vez presentan rasgos observables. Por eso tampoco puede asombrar el que los psicólogos y los sociólogos, que estudian sobre todo aspectos no-observables del comportamiento humano, estén empezando ahora a descubrir variables fundamentales para la explicación de la psique y de la sociedad. Desgraciadamente, no se puede saber si una variable es o no fundamental más que cuando ya se la ha encontrado en un conjunto de enunciados legaliformes de nivel alto (o sea, fuertes), sobre cuya base puedan expresarse otras variables derivadas como funciones de ellas. La búsqueda de variables fundamentales es inseparable de la de relaciones constantes y de alto nivel entre ellas, o sea, de la búsqueda de leyes ricas. Por eso los esfuerzos de muchos científicos conductistas por descubrir por observación las variables básicas sin formular hipótesis acerca de relaciones legaliformes es una pérdida de tiempo.

La más sencilla relación entre dos variables es, naturalmente, la relación de independencia recíproca, o sea, la falta de relación sistemática. He aquí un ejemplo de enunciado de irrelevancia recíproca entre dos variables: "La aceleración de un cuerpo en caída libre no depende de la masa". ¿Puede aspirar este enunciado a ser una ley científica en el sentido caracterizado en 6.1? Sin duda, puesto que la relación de independencia o irrelevancia es un tipo de relación, y no debe confundirse con la falta de relación en sentido general. Cuando decimos que y es independiente de x significamos que los valores de y siguen siendo los mismos cualesquiera que sean los valores que tome x; entre variables recíprocamente independientes pueden establecerse relaciones, lo cual no puede hacerse entre variables no-relacionadas: ya el enunciado de que dos variables no están correlacionadas establece una relación entre ellas. Pero ocurre que para cualquier conjunto dado de variables es posible establecer un número ilimitado de enunciados de irrelevancia recíproca: por ejemplo, podemos decir justificadamente que la aceleración de un cuerpo en caída libre es independiente de su color, de su textura, de su precio, de su valor estético, etc. Consiguientemente, hace falta un criterio para seleccionar las leyes de entre todos los posibles enunciados de irrelevancia recíproca. El único criterio realmente usado es el siguiente: Un enunciado de irrelevancia –una vez confirmado– puede ser ascendido a la categoría de ley si entra en conflicto con enunciados de relevancia hechos en una teoría rival o propuestos intuitivamente, o sea, que puede ser considerado como una ley si las variables afectadas se consideraban antes recíprocamente dependientes y resultan no serlo.

Junto con la irrelevancia se nos presenta, naturalmente, la relevancia. Decimos que dos variables son *recíprocamente relevantes* en un dominio dado si y sólo si un cambio en los valores de una de las variables constituye una diferencia en los valores de la otra. Las clases más sencillas de relevancia recíproca son las de relevancia favorable y relevancia desfavorable; pero estos casos no agotan ni mucho menos el concepto de relevancia recíproca. Podemos decir que el rearme es favorable a la tensión mundial, y a la inversa, y que la edad avanzada es desfavorablemente relevante para el metabolismo. Pero esas expresiones no se considerarán leyes, porque son demasiado vagas. Los enunciados legaliformes son mucho más fuertes y, por tanto, verdades muchos menos fáciles.

Un enunciado cuantitativo que se refiera al grado de correlación entre dos variables se acerca ya más al estatuto de una ley. El concepto estadístico de *coeficiente de correlación,* $r(x, y)$, entre las variables x e y es una dilucidación del concepto intuitivo de correlación. Y todo enunciado que atribuya un valor determinado a $r(x, y)$ es más fuerte que un enunciado cualitativo de relevancia favorable o desfavorable. Si $r(x, y)$ es cercano a $+1$, decimos que x es favorablemente relevante para y, y a la inversa, mientras que si $r(x, y)$ se acerca a -1 decimos que x e y son desfavorablemente relevantes la una para la otra. Si $r(x, y)$ es exactamente $+1$ o -1, obtenemos, como caso especial, la relación lineal [6.1] entre x e y. (Cf. fig. 6.3.) Las variables funcionalmente interrelacionadas están correlatadas, pero no a la inversa: si el coeficiente de correlación se acerca a $+1$ o -1, podemos sospechar la existencia de una ley; eso es todo. No podemos esperar descubrir en cada caso una ley por debajo de una correlación estadística constante: más bien tenemos que esperar diversos grados de compacidad en la relación entre variables, especialmente entre las que son observacionales. Si la correlación es alta –o sea, si los datos quedan cerca de una línea como la mostrada en la figura 6.3 (línea de regresión lineal)– podemos justificada-

mente interpretar la línea como una *tendencia,* aunque no todavía como una ley propiamente dicha.

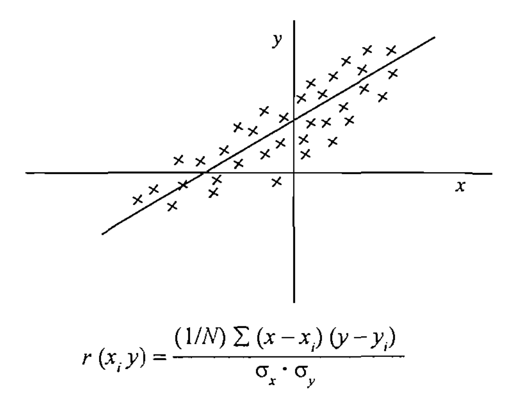


FIGURA 6.3. Variables linealmente correlatadas. La línea recta (línea de regresión lineal) es algo así como la media del acúmulo de datos.

No podemos, pues, sin más conocimiento, suponer que debajo de cada tendencia hay una ley; pero sí que podemos en todo caso buscar fundamento en favor o en contra de la hipótesis de que una tendencia es en realidad una ley difuminada por efectos del azar. Y así la línea recta de la figura 6.3 puede acaso interpretarse como la ley que *valdría,* si no fuera por las perturbaciones casuales; o sea, como una especie de "mensaje" perturbado por un "ruido" casual más o menos intenso. Pero para que esa interpretación sea razonable necesitamos disponer de algún fundamento, a poder ser teorético y empírico. Más precisamente, podemos suponer que una línea de tendencia oculta una ley sólo si (*i*) los datos tienden efectivamente a fundirse en la línea y con ella cuando las perturbaciones se hacen despreciables (por ejemplo, al enfriar sistemas físicos, al elegir grupos homogéneos en el caso de sistemas sociales), o (*ii*) se dispone de un modelo teorético que dé razón de la línea central subyacente al proceso casual.

*En cualquier caso, el cálculo de coeficientes de correlación y el trazado satisfactorio de líneas de regresión no debe confundirse con un *método para hallar leyes,* confusión tan frecuente en las ciencias sociales. Cuando se adopta un modelo de regresión lineal y se calculan los parámetros a partir de los datos, la ley central que se supone regir esa información "ruidosa" (dispersa) no se ha descubierto, sino que se ha supuesto desde el principio. No hay elaboración de datos estadísticos que produzca por sí misma nuevas hipótesis, por no hablar ya de leyes; en general, no hay esfuerzo técnico, por grande que sea, ni empírico ni matemático, que pueda ahorrarnos el trabajo de inventar nuevas ideas, aunque sin duda aquel trabajo técnico puede muy bien disimular la falta de ideas.

La relevancia recíproca de las variables se formula hipotéticamente o se descubre por suerte antes de que puedan hallarse las relaciones precisas (leyes) entre ellas. O sea: lo primero que se halla es un *esquema hipotético* referente a la relación entre ciertas variables, el cual luego se rellena. Si esos esquemas no se encuentran por pura suerte, pueden

rastrearse mediante alguno de los procedimientos siguientes. Primero: alguna consideración teorética puede sugerir que una determinada variable es relevante para ciertas otras; así, por ejemplo, nuestro grosero conocimiento sociológico actual sugiere que la clase de trabajo es relevante para la mayoría de las demás variables que interesan en sociología. Segundo: a menudo es posible construir un experimento imaginario para sugerir relaciones: nuestro conocimiento suele bastar para imaginar qué ocurriría si faltara una variable dada, o si sus valores cambiaran de un modo determinado.

Pero esos procedimientos no pueden sino sugerir la existencia de una ley o de una relación sistemática (no accidental) entre dos o más variables. Esa sospecha tiene que someterse a contrastación empírica y esto se hace estadística o experimentalmente, según la naturaleza del sistema y las posibilidades de controlar efectivamente algunas variables. La contrastación estadística de una hipótesis de relevancia puede consistir en inquirir, sobre la base de datos observacionales, si existe o no una correlación significativa entre las variables objeto de nuestra sospecha. Y la contrastación experimental consistirá en cambiar deliberadamente el valor de una de las variables y en observar si entonces –y en qué medida– quedan afectadas por ello las demás supuestas correlatadas.*

Obsérvese que hasta el momento no nos hemos ocupado de enunciados legaliformes, sino más bien de hipótesis de correlación, que son conjeturas programáticas que construimos antes de formular enunciados de leyes propiamente dichas. La formulación y la puesta a prueba de esas hipótesis, aunque es un asunto importante, no sustituye a la búsqueda y la puesta a prueba de leyes científicas. Así, por ejemplo, la mera afirmación de que los resultados de una conjetura están por encima del azar (o sea, que esa conjetura acierta más de la mitad de las veces) no es un enunciado legaliforme, y, por tanto, su confirmación no establece ningún enunciado de ley. A lo sumo esa confirmación justificaría el programa de buscar leyes que expliquen la supuesta anomalía. Ésta es, dicho sea de paso, una de las razones por las cuales la parapsicología no puede considerarse científica: la parapsicología se contenta con hacer vagas afirmaciones de correlación, sin especificar las relaciones, o sea, sin formular leyes, por no hablar ya de someterlas a contrastación. (Cf. sec. 16.) Y donde no hay leyes, no hay ciencia.

Una vez establecida una hipótesis de correlación, uno se enfrenta con la tarea de establecer una relación precisa, y una vez conseguido esto se emprenderá la tarea de someter a contrastación el hipotético enunciado legaliforme. Desgraciadamente, no hay recetas para hallar fórmulas legaliformes precisas, salvo por lo que hace a las de nivel más bajo. La observación cuidadosa, tan a menudo recomendada como el camino que conduce a la ley, no bastará nunca por sí misma, porque las leyes no son observables: lo que observamos en el mejor de los casos son aspectos seleccionados de fenómenos que recogemos como datos; pero un enunciado legaliforme se supone que explica precisamente un tal acúmulo de datos, generalmente sobre la base de variables trasempíricas. Además, el flujo de la experiencia personal no tiene leyes: una secuencia de unidades experimentales (subjetivas) no cumple ninguna ley. Por tanto, para obtener leyes tenemos que poner o afirmar entidades que se encuentren por detrás de los cuerpos tangibles, y propiedades no accesibles a los sentidos, aunque relacionadas según ley con las cualidades sensibles.

La *observación* cuidadosa, junto con alguna hipótesis que la guíe, es un camino que

lleva a leyes de bajo nivel, o sea, a hipótesis observacionales; y a nada más. Supongamos que presumimos la existencia de una relación sistemática entre el porcentaje de una determinada sustancia química, *C*, en el protoplasma y la naturaleza de la especie biológica –o sea, que el porcentaje de *C* depende de la especie. Una primera contrastación de esta hipótesis de correlación puede consistir en llevar a cabo una búsqueda y medición de *C* en unos cuantos ejemplares de órdenes distantes. El paso siguiente puede ser el averiguar el contenido exacto de *C* en una muestra al azar de una determinada especie *S*. Tal vez podamos de este modo llegar a establecer una modesta ley de la forma: "El contenido medio de *C* en *S* es del *s*%, con una desviación estándar σ". Luego podemos intentar relacionar el contenido de *C* en especies íntimamente relacionadas, intentando así descubrir la filogénesis de la especie dada, o bien podemos estudiar la posible influencia del medio (por ejemplo, el efecto de la salinidad del agua en el contenido de sal en varias especies de peces). De este modo podemos establecer miles de leyes insignificantes de bajo nivel. Pero mientras no nos enfrentemos con el problema de aclarar el papel de *C* (en el metabolismo, por ejemplo) y mientras no intentemos dar razón de las diferencias en cuanto a contenido de *C* entre diferentes especies, no pasaremos de aumentar la montaña, ya considerable, de la literatura protocientífica, en la cual se acumulan sin objeto alguno datos aislados y generalizaciones empíricas aisladas.

Una técnica corriente para hallar leyes de bajo nivel que correlacionen unas pocas variables cuantitativas (magnitudes) es la siguiente, que vamos a describir con referencia a dos variables nada más. Se empieza por conseguir datos empíricos cuantitativos y por tabularlos. Luego se aplica una *técnica de interpolación* corriente –con la ayuda de una calculadora si se trata de muchas variables– y se obtiene el resumen polinómico más simple de los datos. Con esto puede tenerse la siguiente interpretación geométrica de los factores o *input* (datos) y del producto o *output* (polinomio); cada dato es un punto de un espacio de tantas dimensiones cuantas variables se consideren, y el polinomio es la figura más uniforme (línea de superficie) que pasa cerca de los "puntos empíricos". Las corrientes fórmulas de interpolación para dos variables dan polinomios de grado $n-1$ para n datos. Esbocemos ese procedimiento con un ejemplo.

Supongamos que hemos hallado que el ángulo de refracción, *r*, de un rayo de luz depende del ángulo de incidencia, *i* (hipótesis de correlación). Deseamos hallar la ley exacta que correlaciona esas dos variables en el caso de un determinado medio trasparente y de un dado color de la luz. Podemos proceder como sigue. Practicamos primero mediciones de ángulos con intervalos de 10 grados y, por ejemplo, 1 minuto de precisión, y tabulamos los resultados de nuestras mediciones. Así conseguimos la tabla 6.1, que ex-

TABLA 6.1

i	*r*	*i*	*r*
0°	0°00′	50°	22°31′
10°	4°59′	60°	25°40′
20°	9°51′	70°	28°01′
30°	14°29′	80°	29°30′
40°	18°44′	90°	30°00′

pone nuestros hallazgos. Pero esa tabla, que es un sumario de resultados experimentales, es evidentemente insuficiente: (*i*) no contiene más que un número finito de datos, y (*ii*) no nos ayuda a explicar el fenómeno de la refracción. Consiguientemente, buscamos una fórmula de la forma "$r = f(i)$", que cubra infinitos pares posibles $\langle i, r \rangle$ de ángulos. Con este fin, señalamos los datos en el plano *i-r* y unimos los "puntos empíricos" con una línea continua: esto nos dará una representación intuitiva de la fórmula (cf. figura 6.4). Vemos así que, hasta los 30° aproximadamente, la aproximación lineal –la línea de puntos que representa la función "$r = 0{,}5\ i$"– es bastante buena. A partir de ahí la diferencia aumenta perceptiblemente, llegando al 40% en 90°. Antes de que se descubriera la ley, Kepler había conjeturado que hay alguna relación lineal entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción. Esto es bastante común en la historia de la ciencia. Lo primero que suele conjeturarse (no siempre, sin embargo), son *aproximaciones de primer orden,* o sea, las hipótesis más simples.

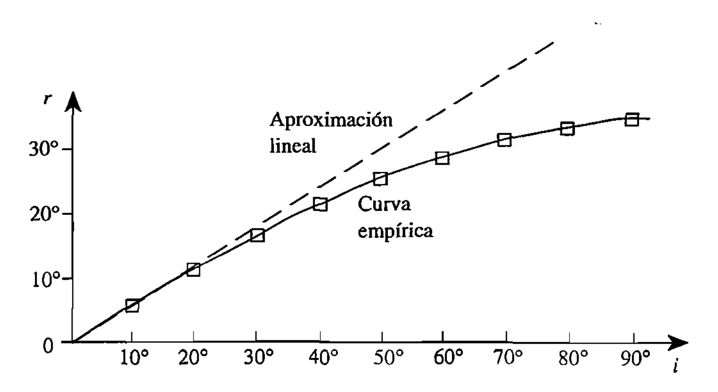


FIGURA 6.4. Representación y generalización de la tabla 6.1, referente a la relación entre el ángulo de incidencia *i* y el ángulo de refracción *r*. Cada cuadrado representa un dato empírico.

Para perfeccionar la aproximación de primer orden podemos añadir un término cuadrático a la anterior expresión, esto es, podemos escribir $r = 0{,}5\ i + ai^2$, siendo *a* un número negativo pequeño que sirva para flexionar la curva hacia abajo. Pero no tenemos necesidad de buscar al azar; Gregory y Newton –entre otros– nos han legado una técnica mecánica de interpolación por medio de la cual nuestros diez pares de números de la tabla 6.1 pueden encajar en un polinomio de grado 9. Este procedimiento puede perfeccionarse sin más límites que los que imponga la sensibilidad de nuestros instrumentos de medición. Podemos empezar por tomar intervalos de un grado, luego de un minuto, y así sucesivamente hasta que tropecemos con dichas limitaciones instrumentales (que son técnicas y físicas). Así vamos consiguiendo datos cada vez más detallados, aunque al precio de una complejidad creciente. Por ejemplo, si las lecturas son cada décima de segundo –y si se tiene paciencia– puede conseguirse un polinomio de 54 000 términos. Pero esto no nos haría adelantar ni un solo paso hacia la hipótesis verdadera, que es la ley de Snell.

La ley de Snell puede formularse del siguiente modo: "El seno del ángulo de incidencia dividido por el seno del ángulo de refracción es igual a una constante [el índice de

refracción para el par de sustancias considerado]". Simbólicamente: sen i / sen $r = n =$ = const. Esta ley vale, con cualificaciones, no sólo para el particular par de sustancias considerado en el ejemplo, sino para todos los pares de medios trasparentes conocidos. Suministra cierta comprensión del fenómeno de la refracción y goza del apoyo de la teoría ondulatoria de la luz, pues es un teorema deducible en ella. Es imposible obtener mediante una técnica de interpolación una ley como la de Snell, porque supone una función no-algebraica (trascendental) y estas funciones (como el seno, el logaritmo y la función exponencial) pueden desarrollarse en series de potencias infinitas, pero no en polinomios finitos. *Las funciones trascendentales o trascendentes son *infinitamente más complejas* que las funciones algebraicas más complicadas; sólo tipográficamente son más simples. Sin duda es posible aproximarse cuantitativamente a cualquier función trascendental dada por medio de un polinomio, y mejorar esa aproximación todo lo que se quiera, de modo que no quede diferencia numérica notable entre la función exacta y su aproximación algebraica; pero la función misma sigue siendo en lo esencial diferente tanto de la millonésima aproximación como de la primera. Esta diferencia puede no tener importancia para fines prácticos; por ejemplo, un fabricante de lentes puede perfectamente salir del paso con una aproximación de segundo orden a la ley de Snell. Aún más: la ley de Snell es *empíricamente indistinguible* de la correspondiente generalización empírica si el proceso de interpolación se lleva adelante suficientemente. Pero teoréticamente la diferencia es abismática. Primero: mientras que el polinomio cubre y generaliza un conjunto finito de datos, la ley exacta cubre un conjunto de datos potencialmente infinito. Segundo: no podemos explicar ninguna de las aproximaciones algebraicas a la ley de Snell, la cual, en cambio, puede explicarse con la ayuda de principios de nivel superior, como el principio de duración extrema (mínima, en particular) de las trayectorias de la luz, debido a Fermat, o también las ecuaciones ondulatorías, aún más ricas, de la óptica física; dicho de otro modo: mientras que la ley exacta es susceptible de teoretización, la generalización empírica se queda fuera de la teoría.*

En resumen: dado un conjunto de datos empíricos, pueden hallarse infinitas funciones que los recojan, y la simple aritmética permite construir una buena función algebraica (polinomio) para recoger esos datos. No hay ningún criterio único y simple –como alguna clase de simplicidad– para regular la elección entre ellas. Los principales criterios de selección son los siguientes: (*i*) eficacia en el recubrimiento de los datos; (*ii*) posibilidad de teoretización (es decir, de inserción en una teoría, o desarrollo hasta dar de sí una teoría), y (*iii*) posibilidad de interpretar las constantes que aparecen en la función. Los polinomios del tipo suministrado por una técnica de interpolación satisfacen la primera condición tan adecuadamente como se desee, pero no cumplen, en cambio, los otros dos criterios: en primer lugar, son fórmulas aisladas, no miembros de amplias familias (como lo es, por ejemplo, sen nx); en segundo lugar, contienen constantes puramente numéricas sin significación factual.

Otra técnica diferente, útil, pero limitada, en la búsqueda de leyes de nivel inferior, es el *análisis dimensional.* Supongamos que deseamos hallar la ley de la oscilación del péndulo simple (cf. fig. 6.5) y que por alguna razón no deseamos usar el único método que es razonable para el descubrimiento de leyes de nivel bajo en dominios ya explorados, a saber, la aplicación de alguna teoría, como la mecánica newtoniana. Empezaremos

FIGURA 6.5. Un modelo teorético de un péndulo que oscila en el vacío con oscilaciones pequeñas.

entonces por enumerar las relaciones que presumimos relevantes, con sus dimensiones correspondientes:

Variable	*Símbolo*	*Fórmula dimensional*	*Unidad*
Periodo de oscilación	T	T	sec
Longitud del péndulo	L	L	cm
Masa del péndulo	m	M	g
Aceleración de la gravedad	g	L / T^2	cm/sec^2
Ángulo de oscilación	θ	---	grado

Al establecer esa lista teníamos presente un determinado modelo teorético, aunque no usáramos una teoría. De hecho, hemos prescindido de propiedades secundarias, hemos eliminado las faltas de rigidez y hasta el aire, hemos supuesto que el disco del péndulo está suspendido de un soporte físico mediante un hilo inextensible, etc.; dicho de otro modo: hemos despreciado como secundarias las propiedades del soporte, el disco, el hilo y el medio, con excepción de las propiedades enumeradas. Nuestro objeto es, en definitiva, un péndulo *ideal*, y lo que buscamos es la ley de este objeto ideal. Más precisamente, buscamos una relación $R(T, L, m, g, \theta)$ entre las variables sospechosas de relevancia, tal que esa relación se mantenga *invariante bajo el cambio de unidades*. (Hay que subrayar la invariancia de las leyes respecto de la elección de unidades, para contrarrestar el difundido error de que las unidades son esenciales para la ciencia. De hecho, la consideración de las unidades no interviene hasta el último estadio, el de la contrastación (cf. 13.5).) Supongamos que hayamos resuelto esta relación para el periodo de oscilación $T = F(l, m, g, \theta)$. Ningún cambio de la unidad de masa puede compensarse mediante un cambio de cualquiera de las restantes unidades, porque ninguna de las variables supuestamente relevantes depende de la masa, salvo la masa misma. Por tanto, m no puede ser una variable relevante, y la anterior relación se reduce así a $T = F(L, g, \theta)$. Si ahora cambiamos la unidad de longitud, quedará afectado g y, por tanto, L y g tendrán que combinarse de tal modo que no cambie T; dicho de otro modo: todo cambio de L tiene que compensarse con un cambio de g por la adopción de una nueva unidad de longitud. La única combinación que satisface este requisito es L/g; este cociente no depende de la longitud. Por tanto, escribiremos $T = F(L/g, \theta)$. Ahora bien, como θ carece de dimensio-

nes, puede presentarse en cualquier forma, por lo que hace al análisis dimensional; por tanto, podemos separarlo del modo siguiente: $T = F(L/g)f(\theta)$. Pero L/g tiene que presentarse de tal modo que la dimensión del segundo miembro sea la misma que la del primero (principio de homogeneidad dimensional). Como la dimensión de L/g es T^2 (cf. la tabla anterior), tenemos que exigir que L/g se presente bajo el signo de raíz cuadrada, o sea, que $T= \sqrt{L/g}\,.\,f(\theta)$, fórmula en la cual $f(\theta)$ sigue sin determinar. Hasta aquí puede llevarnos el método del análisis dimensional. El experimento nos enseña entonces que, para pequeños ángulos de oscilación, $f(\theta) \cong 6$. Y la mecánica analítica nos muestra que, en esas mismas condiciones, esa constante empírica es exactamente 2π, una constante que, para grandes ángulos de oscilación, tiene que sustituirse por una función del ángulo. Es obvio que ningún cúmulo de datos experimentales, por grande que fuera, habría podido dar nunca ni la raíz cuadrada ni el valor exacto de $f(\theta)$.

En conclusión: hay determinadas técnicas para condensar y generalizar datos, o sea, para obtener *enunciados legaliformes de bajo nivel*. Pero esos métodos (*i*) presuponen que se dispone ya de los conceptos relevantes (variables relevantes), (*ii*) utilizan modelos teoréticos más o menos simplistas del objeto estudiado, y (*iii*) son de alcance limitado, aunque no sea más que porque no suministran relaciones con otros enunciados legaliformes: dan sólo hipótesis aisladas de bajo nivel. Las fuertes hipótesis que se presentan como supuestos iniciales de las teorías no pueden obtenerse nunca mediante las técnicas que hemos ilustrado en lo que precede. No se conocen reglas para inventar conceptos de nivel alto, ni enunciados legaliformes que los relacionen: a diferencia de la búsqueda de generalizaciones empíricas, la creación de conceptos teoréticos y de leyes no es una actividad normada y orientada por reglas.

Pero antes de discutir las varias clases de leyes debemos familiarizarnos con cierto número de ejemplares de enunciados legaliformes: a esto se dedica la sección siguiente.

Problemas

6.2.1. Los sociólogos se complacen en llamar 'leyes' a enunciados como el siguiente: "La presión que experimentan los miembros de un grupo para comunicarse entre ellos depende de la discrepancia de opinión percibida sobre un tema entre los miembros del grupo y de la presión de los miembros del grupo para conseguir la uniformidad de opinión." ¿Es éste un enunciado legaliforme, o más bien una hipótesis acerca de la existencia de una relación funcional (que aún queda sin especificar) entre tres variables, o sea, una hipótesis programática? *Problema en lugar de ése*: Recoger algunas hipótesis programáticas de las que se presentan en revistas de psicología y de sociología.

6.2.2. Citar un par de variables recíprocamente irrelevantes, otro de variables favorablemente relevantes y otro de variables desfavorablemente relevantes.

6.2.3. Estudiar el análisis de correlaciones estadísticas en la búsqueda de leyes. Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, cap. 11, sec. 5, y la bibliografía en él citada. *Problema en lugar de ése*: La mayoría de las variables cambian de modos que no son obviamente según leyes. La ley de variación, cuando existe, puede hallarse muchas veces analizando la variable en movimientos periódicos simples de amplitud decreciente y frecuencia creciente, y estableciendo luego una contrastación de ese análisis (armónico). Examinar esa búsqueda de periodicidad y averiguar si las periodicidades suministran leyes básicas o sus soluciones.

6.2.4. ¿Existiría la irrelevancia si toda propiedad estuviera rígidamente relacionada con toda otra propiedad y, consiguientemente, todas las leyes constituyeran un solo sistema rígido, un bloque universal? ¿Qué hipótesis ontológicas sugiere la mera existencia de leyes bien corroboradas, cada una de las cuales correlata unas cuantas propiedades?

6.2.5. La tabla 6.1 abrevia diez proposiciones singulares. Formular plenamente cada una de esas diez proposiciones. Luego comparar ese conjunto de proposiciones con el enunciado de la correspondiente ley (la de Snell). Para fines de comparación escríbase esta última ley simplemente así: '$L(i, r)$', sin dejarse confundir por el hecho de que la ley de Snell no se escriba corrientemente como función explícita de la forma "$r = f(i)$", sino como una función implícita de la forma "$f(i, r) = 0$". Esta última puede resolverse fácilmente para r, a saber: $r = \text{sen}^{-1}$ (sen i/n). *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema de la adecuación de un polinomio para recoger un conjunto de datos por medio de la fórmula de interpolación de Newton-Gregory.

6.2.6. Todo par de sustancias transparentes (aire-agua, vino-cuarzo, aceite de oliva-agua, etc.) se caracteriza desde el punto de vista óptico por un determinado valor del índice de refracción. ¿Nos encontramos ante leyes distintas cada vez que se da a n un valor diferente? *Problema en lugar de ése*: Explicitar la forma lógica de la ley de Snell.

6.2.7. Hasta el momento, los investigadores que han buscado leyes históricas han intentado obtener generalizaciones empíricas a partir del material histórico disponible. ¿Es posible que ese método dé algo más que generalizaciones empíricas aisladas? ¿No sería posible formular modelos hipotéticos de sociedades en evolución, con la ayuda de la ciencia social?

6.2.8. E. Husserl, el fundador de la escuela fenomenológica, sostenía que las leyes esenciales se obtienen mediante el método de la "variación eidética", por el cual se practican "transformaciones libres" de las "intuiciones esenciales"; las invariantes de tales transformaciones serían las leyes esenciales. ¿Estaría el lector dispuesto a reconocer leyes esenciales, distinguiéndolas de las no esenciales, y a establecer una sola ley esencial con la ayuda del método de Husserl?

6.2.9. ¿No podría convertirse la búsqueda de leyes en una actividad normada y orientada por reglas? Y si se conocieran las reglas adecuadas, ¿no sería posible confiar a calculadoras la tarea de hallar las leyes a partir de los datos? Pueden, desde luego, programarse calculadoras para hallar los coeficientes de polinomios dado un conjunto de datos, pero el problema es si esas máquinas serían capaces de hallar funciones no triviales y las ecuaciones básicas que resuelven dichas ecuaciones.

6.2.10. Supongamos que se sospecha una asociación entre determinadas variables. El primer problema consiste en averiguar si están efectivamente correlacionadas. Si se obtiene efectivamente una alta correlación, el problema siguiente consistirá en averiguar si esa correlación es genuina (sistemática) o espúrea (sin sentido). ¿Cómo podemos proceder para resolver ese problema? ¿Tomaremos una muestra más amplia o intentaremos explicar la tendencia observada sobre la base de mecanismos, o sea, de leyes independientemente contrastables? ¿Y qué situación se planteará si no conseguimos hallar tales mecanismos? ¿Concluiremos que la correlación es espúrea o suspenderemos todo juicio?

6.3. CLASES

Hay tantas clases de leyes científicas cuantos puntos de vista o criterios de clasificación queramos adoptar. Un punto de vista muy ilustrativo consiste en considerar los niveles cualitativamente diferentes –los llamados niveles integrativos– según los cuales puede analizarse la realidad: el nivel físico-químico, el biológico, el psicológico y el sociocultural (cf. sec. 5.9). Cada uno de esos niveles puede caracterizarse por variables y leyes pro-

pias, y las relaciones objetivas entre esos niveles se explicarán mediante leyes inter-niveles. Agrupemos, pues, las variables que se presentan en una investigación científica del modo siguiente:

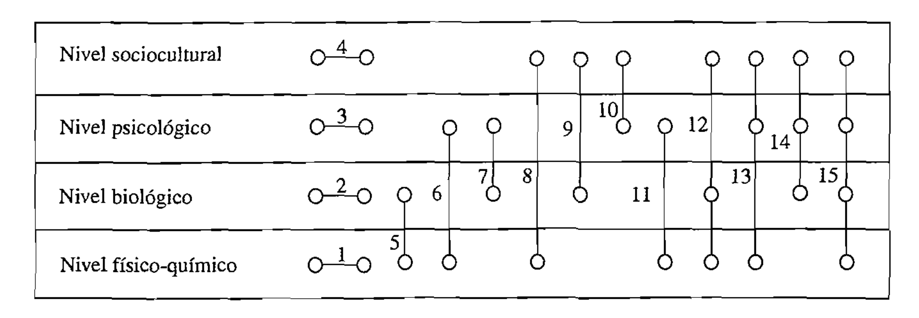
Variables físicas, φ_i, por ejemplo, la intensidad de la luz.
Variables biológicas, β_i, por ejemplo el sexo.
Variables psicológicas, ψ, por ejemplo, el impulso.
Variables sociológicas, σ_i, por ejemplo, la división del trabajo.

Las varias relaciones constantes, fundadas y confirmadas, entre tales variables compondrán el conjunto de leyes científicas conocidas. Las leyes que relacionan variables pertenecientes al mismo nivel (por ejemplo, las relaciones variable física-variable física) pueden llamarse leyes *intranivel.* Las que correlacionan variables pertenecientes a diferentes niveles (por ejemplo, la relación nivel de azúcar en la sangre-fatiga) pueden llamarse leyes *interniveles.*

Pueden existir *a priori* las siguientes clases de leyes (por lo que hace a la estructura de nivel):

1. $\varphi_i = F(\varphi_j)$	*Leyes físicas y químicas*	LEYES INTRANIVEL
2. $\beta_i = F(\beta_j)$	*Leyes biológicas*	
3. $\psi_i = F(\psi_j)$	*Leyes psicológicas*	
4. $\sigma_i = F(\sigma_j)$	*Leyes sociológicas*	
5. $\beta_i = F(\varphi_j)$	*Leyes biofísicas y bioquímicas*	LEYES INTERNIVELES
6. $\psi_i = F(\varphi_j)$	*Leyes psicofísicas y psicoquímicas*	
7. $\psi_i = F(\beta_j)$	*Leyes psicobiológicas*	
8. $\sigma_i = F(\varphi_j)$	*Leyes sociofísicas*	
9. $\sigma_j = F(\beta_j)$	*Leyes sociobiológicas*	
10. $\sigma_i = F(\psi_j)$	*Leyes sociopsicológicas*	
11. $\psi_i = F(\varphi_j, \beta_k)$	*Leyes psicobiofísicas*	
12. $\sigma_i = F(\varphi_{j,}\ \beta_k)$	*Leyes sociobiofísicas*	
13. $\sigma_i = F(\varphi_{j,}\ \psi_k)$	*Leyes sociopsicofísicas*	
14. $\sigma_i = F(\beta_j, \psi_t)$	*Leyes sociopsicobiológicas*	
15. $\sigma_i = F(\varphi_j, \beta_k, \psi_e)$	*Leyes sociopsicobiofísicas*	

Esas varias relaciones posibles pueden representarse diagramáticamente del siguiente modo:



Puede parecer que los conjuntos 12 a 15 de las leyes interniveles son vacíos; pero no es así. El conjunto 12° está constituido por las leyes de la ecología social. El 13° puede ejemplificarse con las leyes de la psicología social, en las cuales estímulos físicos y sociales determinan variables de comportamiento. Ejemplos de la 14ª clase son las leyes de la psicología social en las cuales variables biológicas (como el sexo) y sociales (como el estatus social) determinan variables de comportamiento. Y ejemplos de la 15ª clase son las leyes de la psicología social que cubren el comportamiento de individuos sometidos a la acción conjunta de estímulos físicos, biológicos y sociales.

Las leyes de los tipos 6, 8, 9, 12 y 13 saltan algunos niveles intermedios. Esto puede parecer una violación del principio ontológico que prohíbe saltarse niveles (cf. sección 5.9), el cual se basa en el estudio de los mecanismos que relacionan niveles diferentes. Así, por ejemplo, sabemos que un estímulo físico no actúa directamente sobre un estado mental, sino que tiene que poner primero en acción el organismo, puesto que, en última instancia, los fenómenos psíquicos son conjuntos de especiales funciones del organismo. Tampoco los estímulos biológicos obran directamente sobre el nivel social: primero los sufren individuos; así, por ejemplo, la falta de alimentación se sufre o percibe como hambre. Por tanto, también en el caso de las leyes biosociológicas falta un eslabón. Basándonos en esas consideraciones podríamos tener la tentación de eliminar todos los enunciados legaliformes que omiten variables pertenecientes a niveles intermedios. Pero esta conducta sería errónea: mantendremos esas leyes, pero no como leyes últimas, y pediremos, llegado el caso, su análisis último sobre la base de las variables omitidas. Por ejemplo, pediremos el análisis de la ley psicofísica "$\psi = F(\varphi)$" del modo siguiente: $\psi = G(\beta)$, $\beta = H(\varphi)$, con lo que la ley inicial se convertiría en $\psi = G[H(\varphi)]$; las variables de comportamiento serían así funciones de funciones de las variables físicas, y no funciones directas de éstas. Dicho de otro modo: las leyes que se saltan niveles intermedios no pueden aceptarse más que como globales relaciones interniveles, y los mecanismos detallados de la relación entre niveles contiguos tienen que descubrirse hallando sus leyes correspondientes. Dicho brevemente: en última instancia el planteamiento fenomenológico tiene que sustituirse por otro más profundo, representacional (cf. sec. 5.4).

Consideremos ahora unas cuantas leyes científicas para poner de manifiesto algunos de sus rasgos.

Ley física: "La energía de un sistema aislado es constante". Este enunciado es incompleto porque no dice en qué respecto no cambia la energía; pero por el contexto se entiende que la cantidad de energía es constante en el tiempo. Hay varios modos de decir exactamente que una propiedad, como la energía total, permanece constante en el tiempo (o respecto de alguna otra variable). La manera más simple y directa consiste en escribir

$$\frac{\partial E}{\partial t} = 0.$$

Es decir que, para todo instante t comprendido en el intervalo temporal $[a, b]$, la energía total del sistema aislado x es constante. (Simbólicamente: $(t)(t \in [a, b] \,\&\, A(x, t) \rightarrow$ $\rightarrow E(x, t) = \text{const.})$. En esta notación '$A$' es un predicado cualitativo diádico que repre-

senta la propiedad "aislado", y 'E' es un predicado cuantitativo diádico que representa "energía". En realidad, la fórmula presupone un marco de referencia fijo; si se explicita esa presuposición, hay que añadir una nueva variable de objeto a A y E, los cuales se convierten entonces en predicados triádicos.

Ley química: "La molécula de agua consta de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno". Obsérvese que el artículo 'la' desempeña aquí el papel del cuantificador universal: lo que queremos decir es que toda y cada molécula de agua tiene esa composición. Consiguientemente, la versión desarrollada es, pues: "Para todo x, si x es una molécula de agua, entonces x se compone de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno". Podemos considerar que el concepto de composición es un functor *sui generis* y representarlo por '$C(x)$'; con esto simbolizaremos el conjunto: $(x)\ [A(x) \rightarrow C(x) = H_2O]$. Si recordamos que la química cuenta con más de diez millones de leyes de composición de ese tipo, tendremos que admitir que es la ciencia más rica en cuanto a enunciados legaliformes. Si nos resulta necesario, podemos añadir que la composición de la molécula de agua es independiente del espacio y del tiempo, o sea, que es *espacio-temporalmente universal*, y no sólo *referencialmente universal* (que quiere decir: cuantificada universalmente respecto de la variable de objeto, o variable individual). La universalidad espacio-temporal, que es un supuesto corriente cuando se trata de leyes de la naturaleza, puede indicarse explícitamente introduciendo la variable 'π' para la posición en el espacio-tiempo; cada valor de π será un cuádruplo ordenado de números: uno para el tiempo y tres para las coordenadas espaciales. Podemos entonces escribir nuestra ley química del modo siguiente: $(\pi)\ (x)\ [A(x, \pi) \rightarrow C(x, \pi) = H_2O]$, lo cual significa: "Siempre y en todo lugar, la composición de toda partícula de agua es H_2O". No necesitamos repetir la cláusula 'siempre y en todo lugar' cada vez que escribimos una ley de la naturaleza, siempre que precisemos de una vez y para siempre la siguiente metaley, o ley de leyes: "Las leyes no están fechadas ni situadas". No tiene ningún peligro el aceptar este principio metanomológico, con la condición de que nos demos cuenta de que es una hipótesis metafísica (ontológica) muy fuerte. Pero sigamos con nuestros ejemplos.

Ley geológica: "Si no hay plegamientos, los estratos geológicos más profundos son los más antiguos". Forma desarrollada: "Si x e y son dos estratos geológicos diferentes, y si x e y no están plegados, entonces si x es más profundo que y, entonces x es más antiguo que y". Simbólicamente: $x \neq y\ \&\ E(x)\ \&\ E(y)\ \&\ N(x)\ \&\ N(y) \rightarrow [P(x, y) \rightarrow A(x, y)]$. Dicho sea de paso, la geología es una de las ciencias pobres en leyes. Sería interesante averiguar si realmente es así o eso sólo es fruto de su presentación habitual: ¿hay pocos esquemas objetivos geológicos, son la física y la química suficientes para la mayoría de los fines geológicos, o se encuentra aún la geología en un estadio poco desarrollado?

Ley biológica: "Los cromosomas se multiplican por dos". Forma desarrollada: "Si x es un cromosoma, entonces x se duplica a sí mismo". Simbólicamente: $C(x) \rightarrow D(x)$.

Ley psicológica: "Los esquemas de comportamiento innatos son más estables que los adquiridos". Aquí es conveniente añadir la variable individual, una x cuyo campo de variabilidad sean todos los organismos. Si no se hace así, puede entenderse que ese enunciado significa que los esquemas adquiridos por cualquier organismo son menos estables que los esquemas innatos de ese mismo organismo (lo cual es verdad) o de diferentes organismos (lo cual es falso). La forma desarrollada es pues: "Para todo x, para todo y y

para todo z, si x es un organismo e y es un esquema de comportamiento innato de x y z es un esquema de comportamiento adquirido de x, entonces y es más estable que z". Simbólicamente: $(x)(y)(z)[O(x) \& I(y) \& A(z) \rightarrow E(x, y, z)]$.

Ley sociológica: "Las culturas ganaderas son nómadas". Simbolización obvia: $(x)[G(x) \rightarrow N(x)]$. Dicho sea de paso, frecuentemente se afirma que ésta es *la* forma de las leyes científicas.

Ley histórica: "La horda precede a la tribu y la tribu precede a la sociedad estratificada". Aquí también, como en el caso de la ley psicológica, falta la variable individual: la ley significa que en el desarrollo histórico de todo grupo humano –llamemos x a la variable correspondiente– se presenta esa secuencia esquemática. Simbolización posible: $G(x) \& t < t' < t'' \rightarrow H(x, t) \& T(x, t') \& E(x, t'')$.

Vamos a detenernos ahora ante un instructivo caso histórico: la historia del *principio de Arquímedes*, una de las primeras leyes científicas. Pasando por alto cierta leyenda referente a una corona y una bañera, el problema que se puso Arquímedes consistía en dar razón de la flotación de los cuerpos. El conocimiento ya disponible era insuficiente, aunque contenía en ese momento algunas generalizaciones empíricas laxamente formuladas que Arquímedes tiene que haber aprovechado, como por ejemplo, "Los sólidos desplazan a los líquidos", "Los cuerpos sumergidos en un líquido pesan menos", "La flotación depende de la clase de líquido". Se trataba de generalizaciones vagas y aisladas tomadas de la experiencia común. Arquímedes tiene el mérito de haberlas convertido en leyes cuantitativas y recíprocamente relacionadas. Pero para eso tuvo primero que conjeturar las variables necesarias y suficientes para dar cuenta de la flotación.

En esa búsqueda de variables relevantes, Arquímedes puede haberse guiado por el precepto de la filosofía atomista que ordena seleccionar como variables fundamentales las cualidades primarias; y puede haber eliminado varias candidatas a variables fundamentales, como la viscosidad y la transparencia del líquido, o la forma y la composición del sólido flotante; pueden haberle bastado para ello unas pocas pruebas. En cualquier caso, Arquímedes redujo el conjunto de las variables relevantes a tres nada más: presión hidrostática, flotación o empuje hacia arriba (pérdida de peso) y cantidad de líquido desplazado. Además, aún redujo esas tres variables a aplicaciones de un solo concepto, el de peso. Ahora estamos ya acostumbrados a buscar variables cuantitativas, pero en tiempos de Arquímedes dominaban el prejuicio platónico contra la posibilidad de construir una ciencia de la naturaleza y la física cualitativa y especulativa aristotélica. Arquímedes no puso los fundamentos de la hidrostática y la estática –los capítulos más tempranos de la teoría física– mediante la simple aplicación de un método, sino que tuvo que inventar incluso el planteamiento correcto.

El problema siguiente era "descubrir" (o sea, concebir o imaginar) la ley que relacionara las tres variables. (Probablemente se le habrán ocurrido varias hipótesis con otras variables distintas de las mencionadas, y probablemente también descartó las variables irrelevantes después de someter a contrastación alguna de esas otras hipótesis. Pero no nos quedan informaciones acerca del proceso de invención y descubrimiento.) Tal vez el primer paso consistiera en suponer que la presión, la flotación y la cantidad de líquido desplazado eran todas fuerzas de la misma clase, expresables como pesos. Entonces el problema inicial se le replantearía del modo siguiente: ¿Cuál es el peso que equilibra la

pérdida de peso $P - P_a$ de un sólido que pesa P en el vacío y P_a sumergido en el fluido? La pregunta era pues: $(?X)\ (P - P_a = X)$. Es claro que X era la flotación, es decir, la presión de abajo a arriba ejercida por el fluido sobre el cuerpo flotante y causa de la flotación de éste. La idea de que esa fuerza o presión es un peso de alguna clase estaba presupuesta por la pregunta misma, y se seguía del principio de homogeneidad dimensional (que Arquímedes, naturalmente, no ha formulado). El problema siguiente consiste en hallar el peso de X.

Parece claro que X no es un peso del cuerpo, puesto que el problema contiene ya los dos pesos relevantes de dicho cuerpo, a saber, P y P_a. Tampoco puede ser X el peso de todo el líquido, puesto que, dentro de amplios límites, la flotación es independiente de la cantidad de líquido. Podemos entonces suponer que X está relacionado con el peso del líquido desplazado por el sólido. Eso no es una hipótesis, sino más bien un esquema hipotético, o una clase infinita de hipótesis, mientras no se precise la relación. Probemos con la conjetura más simple, a saber, que X es igual al peso del líquido desplazado. Si esa hipótesis supera la contrastación, la mantendremos; si no la supera, probaremos con otra conjetura más complicada. Consiguientemente, introducimos en "$P - P_a = X$" la hipótesis "$X = P_f$", en la cual 'P_f' representa el peso del fluido desplazado. Así obtenemos: $P - P_a = P_f$. O sea: "Si un cuerpo sólido se sumerge en un fluido, pierde peso, y su pérdida de peso equivale al peso del fluido desplazado". Como es corriente, la fórmula matemática ignora el antecedente de este condicional.

Eso –el principio de Arquímedes– es un intento de resolver el problema "$(?X)\ (P - P_a = X)$". Antes de aceptarla como ley, esa hipótesis tiene que superar algunas contrastaciones. Para someter a contrastación la hipótesis de Arquímedes podemos proceder del siguiente modo. Primero pesamos un sólido en el vacío, o sea, determinamos P. Luego sumergimos el cuerpo en un fluido, y medimos el nuevo peso, P_a, del cuerpo en él. Luego pesamos el fluido desplazado, y obtenemos el número P_f. Luego realizamos la sustracción $P - P_a$, lo cual es una operación conceptual, y comparamos ese número con P_f, lo cual es otra vez una operación conceptual. Si la diferencia entre los dos números es menor que el error experimental admitido, concluimos que el principio de Arquímedes ha sido confirmado para el par sólido/fluido elegido. La generalización del principio, primero para todos los pares de una clase, luego para todos los pares posibles, se hizo probablemente después de probar con unos cuantos pares. Aún mejor contrastación del principio es su uso continuo como medio para obtener pesos específicos, porque esos valores pueden comprobarse independientemente mediante el procedimiento directo de pesar y hallar el volumen de los sólidos y dividir luego el peso por el volumen.

Hoy día afinamos un poco el principio añadiéndole la condición de que el cuerpo esté en equilibrio con el fluido. Y también solemos sustituir "Pérdida de peso" por "presión de abajo a arriba" u otras ideas parecidas. (Tanto la antigua cuanto la nueva son inobservables, pero fácilmente inferibles.) Una versión moderna elemental del principio puede ser: "Si un cuerpo sólido se sumerge en un fluido y se encuentra en equilibrio con él, entonces sufre una presión de abajo a arriba igual al peso del fluido desplazado". En forma desarrollada: Si x es un cuerpo sólido e y es un fluido y x está sumergido en y y x está en equilibrio con y, entonces la presión de abajo a arriba ejercida sobre x por y equivale al peso del líquido desplazado". Simbólicamente:

$$C(x)\ \&\ F(y)\ \&\ S(x,y)\ \&\ E(x,y) \rightarrow F(x,y) = P_f$$

En los manuales de física no se encontrará más que el consecuente de este condicional. Pero la formulación explícita de las condiciones como *parte* del enunciado legaliforme tiene la ventaja de que muestra con claridad cuáles son sus *condiciones de validez*. Si esas condiciones no se cumplen, puede conservarse el condicional, pero éste se hace *irrelevante*. Tal es el caso, por ejemplo, de los fluidos en movimiento: una corriente de abajo arriba que se desarrolle en el fluido falsará, naturalmente, tanto el antecedente cuanto el consecuente de la ley, pero no el condicional entero. Esos casos no son, pues, excepciones a la ley, sino simplemente casos fuera de su dominio. Pero ¿puede haber excepciones a la ley de Arquímedes? ¿No podemos hallar un concreto par sólido/fluido que false la ley o, por lo menos, imponga su transformación en un enunciado para *casi* todos los casos? Sin duda podemos hallar excepciones; pero sería insensato preocuparse por buscarlas a estas alturas: si existen, que se presenten por casualidad. Se ha asumido más bien una actitud constructiva a este respecto, que consiste en no buscar excepciones ni acumular confirmaciones con la esperanza de aumentar el grado de verdad de la hipótesis por el procedimiento de reforzar constantemente su grado de confirmación. La actitud constructiva ha consistido en intentar *teoretizar* el principio, o sea, en insertarlo en un cuerpo de teoría. Y hace mucho tiempo que eso se ha conseguido: el "principio" de Arquímedes es hoy día un teorema derivado de leyes fundamentales de la mecánica, las cuales le suministran un apoyo del que carecería si siguiera siendo una conjetura aislada empírica o semiempírica. Repasemos una derivación elemental del "principio", el ejercicio será instructivo.

Consideremos un líquido homogéneo en reposo e imaginemos en su seno una región limitada por la superficie imaginaria S (cf. fig. 6.6). Por hipótesis, el líquido se encuentra en reposo, y también lo están, por tanto, todas sus partes (macroscópicas), en particular S. Ahora bien, el líquido delimitado por S ejerce una fuerza hacia abajo, igual a su peso P_f, sobre el fluido que se encuentra debajo. Según el principio de igualdad de acción y reacción (tercer principio de la mecánica newtoniana), la fuerza P_f queda equilibrada por una presión hacia arriba, F, que se origina en el líquido situado por debajo de S, o sea: $P_f = F$. Sustituyamos ahora el líquido encerrado en S por un sólido; o sea, sumerjamos un cuerpo sólido del mismo volumen que S y tal que se encuentre en equilibrio con el líquido. El líquido antes contenido en S quedará entonces desplazado, y el sólido experimentará una presión de flotación igual a la de antes, P_f, ejercida sobre S. Esta presión puede, por otra parte, definirse como la pérdida de peso del sólido: $F =_{\mathrm{df}} P - P_a$. Sustituyendo en la ley "$P_f = F$" obtenemos el "principio" de Arquímedes.

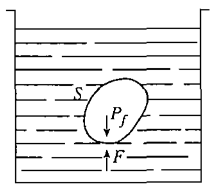


FIGURA 6.6. Una parte del líquido en equilibrio con el resto: la presión hacia arriba, F, equilibra el peso (hacia abajo), P_f.

¿Qué hemos ganado con esta derivación de la ley de Arquímedes? Varias cosas. En primer lugar, ahora *entendemos* la flotación como un caso particular de equilibrio de fuerzas. En segundo lugar, comprendemos que la ley de Arquímedes no es una mera generalización empírica que, como "A los argentinos les gusta la carne", puede ser falsa o hacerse falsa sin necesidad de reajuste alguno en la red de las leyes. En tercer lugar, como consecuencia de la conversión de la ley en una fórmula de la mecánica, la ley ha ganado *apoyo indirecto*: además de sus apoyos directos –a saber, la clase de sus ejemplos o aplicaciones–, la ley de Arquímedes goza ahora de la ayuda de apoyos indirectos, que son todas las confirmaciones de los principios generales de la dinámica; a su vez, ella misma es ahora un apoyo de esos principios. Todo éxito de la mecánica clásica, como la explicación córrecta de un movimiento oscilatorio, o el cálculo preciso de la órbita de un satélite artificial, se convierte en un apoyo indirecto a la ley de Arquímedes. Y todo fracaso de esa teoría –por ejemplo, los que le ocurren cuando se trata de cuerpos muy pequeños– arroja la duda sobre la universalidad del principio de Arquímedes, y puede incluso mostrar en qué dominio es posible suponer que sea falso.

A tenor de lo dicho, nadie conseguirá una beca o financiación para el proyecto de recoger más confirmación directa de la ley de Arquímedes (programa inductivista) ni para el de explorar el universo a la búsqueda de un concreto sólido y un concreto fluido que refuten la ley (programa refutabilista). Las siguientes son, en todo caso, empresas más fecundas que ésas: hallar la dimensión de los cuerpos (partículas brownianas) para las cuales falla el principio; relajar las condiciones de equilibrio y hallar una generalización para condiciones que no sean de equilibrio; investigar teorías generalizadas de la mecánica que no supongan el principio de acción y reacción (la fórmula legaliforme usada en la derivación del principio de Arquímedes). La teoretización y la demarcación del dominio de validez de una ley son tareas mucho más iluminadoras y fecundas que las meras contrastaciones empíricas de la misma.

Problemas

6.3.1. Formular una ley física o química y llevar a cabo un análisis lógico y terminológico de la misma para mostrar su forma lógica y estudiar el grado de ostensividad de los predicados que se presentan en ella.

6.3.2. Hacer lo mismo con una ley biológica o psicológica. *Problema en lugar de ése*: Analizar una ley interniveles.

6.3.3. Hacer lo mismo con una ley sociológica o histórica. *Problema en lugar de ése*: Clasificar las ciencias en disciplinas de un nivel y disciplinas interniveles.

6.3.4. En su tratado *Sobre los cuerpos que flotan* ofreció Arquímedes una derivación de su ley, pero sin plantearse el problema de su contrastación. ¿Lo hizo (*i*) porque no consideraba necesaria la contrastación, a causa de que consideraba autoevidentes sus axiomas, o (*ii*) porque pensaba (coincidiendo con tantos pensadores del siglo XX) que la matematización garantiza la verdad factual; o (*iii*) porque no consideró digno de un hombre libre mencionar que había llevado a cabo contrastaciones empíricas? Cf. la colección *Greek Mathematics*, trad. de I. Thomas, Londres y Cambridge, Mass., The Loeb Classical Library, 1941, pp. 249-251, y p. 31 por lo que hace a la opinión de Plutarco sobre la actitud de Arquímedes respecto de las artes útiles. *Problema en lu-*

gar de ése: Según J. J. C. Smart, *Philosophy and Scientific Realism*, Londres, Routledge, 1963, cap. III, no hay leyes biológicas, igual que no hay leyes de la ingeniería. Discutir esa opinión. Sugerencia: consultar algún manual de biología molecular, fisiología, o ecología.

6.3.5. Proponer un ejemplo de sistematización (teoretización o teorificación) de una ley, o sea, un ejemplo de conversión de una hipótesis inicialmente aislada en un axioma o un teorema de una teoría.

6.3.6. En la derivación de la ley de Arquímedes se supuso que la fuerza o presión de abajo arriba, *F*, "sentida" por el sólido, era la misma que la "sentida" por la porción de líquido incluida en la superficie *S*. En particular, no se supuso que la presión *F* dependiera de ninguna otra propiedad del sólido que no fuera su volumen, el cual era también el volumen del líquido desplazado. ¿Puede mantenerse esa suposición en una física finalista? En caso negativo, explicitar alguna conclusión acerca de la relación entre la investigación científica y las hipótesis metafísicas (ontológicas) generales.

6.3.7. La química tiene probablemente más leyes que la física, pero las leyes de la química son mucho menos relacionadas unas con otras en su propio nivel: o sea, no parece posible establecer relaciones lógicas entre ellas. Son las leyes físicas que subyacen a las químicas las que suministran a estas últimas una especie de sistematicidad deductiva: tomadas en sí mismas, como aún lo estaban no hace mucho tiempo, las leyes de la química se relacionan poco unas con otras. Comentar esta situación y examinar la opinión según la cual cada ciencia se ocupa de una concreta red, de un particular sistema de leyes. Especular también acerca de la posibilidad de que, si hay leyes de la historia, no sean sistemáticas de un modo primario, sino derivativo, en el sentido de que las leyes de la sociología puedan darles una sistematicidad derivada.

6.3.8. ¿Significa la fórmula metanomológica "Las leyes son independientes de su localización en el espacio-tiempo" que todas las leyes rigen, por así decirlo, en todos los rincones del universo, incluso donde no hay más que espacio? ¿Y excluye esto la posible extinción de algunas leyes, o la aparición de leyes nuevas?

6.3.9. Siguiendo una indicación del texto, el *apoyo total*, $A(h)$, de que goza una hipótesis podría definirse como la numerosidad o la cardinalidad de la unión de los conjuntos de apoyos directos e indirectos de h, o sea, $A(h) =_{df} \text{Card}\,[D(h) \cup I(h)]$. Examinar esa sugerencia. En particular, considerar separadamente los cuatro casos que se obtienen al suponer que alguno de los conjuntos –el de los apoyos directos, D, y el de los apoyos indirectos, I– es finito o infinito. Si $D(h)$ o $I(h)$ son infinitos, ¿serán conjuntos de apoyos reales, o más bien de apoyos potenciales? En este último caso, ¿cómo pueden determinarse?

6.3.10. Los científicos se interesan por delimitar el dominio de validez y la imprecisión de los enunciados legaliformes, más que por medir su grado de confirmación, lo cual es, en cambio, la tarea central de la lógica inductiva. ¿Indica esta diferencia de interés una especie de mancha ciega en la visión de los científicos o una falta de familiaridad de los cultivadores de la lógica inductiva con la tarea de la investigación? ¿O indica otra cosa distinta de esas dos?

6.4. FORMA Y CONTENIDO

El requisito lógico más obvio que imponemos a las hipótesis para considerarlas leyes es la *generalidad en algún respecto y en alguna medida.* (El requisito de estar bien formadas queda recogido ya en la decisión de considerar una conjetura como una hipótesis científica.) Exigimos, pues, que por lo menos una de las variables que se presentan en la

fórmula de la ley tenga prefijado el operador 'para todo', o el operador 'para casi todo', o el operador 'para la mayoría de'; si ocurre lo primero, o sea, si la ley es una hipótesis estrictamente universal, entonces solemos prescindir de mencionar explícitamente el cuantificador. Si la ley se refiere a un individuo (como ocurre con las leyes geofísicas, que se refieren a nuestro planeta), exigiremos que el enunciado exprese el comportamiento regular del individuo indicado por un cuantificador universal respecto del tiempo; el cuantificador puede ser restringido o no-restringido, y también puede estar explícito o tácito; pero tiene que estar: porque si no, la proposición sería particular, no general. Si la fórmula de la ley no se refiere a un individuo, sino a una clase, podemos tolerar la cuasi-generalidad, como en el caso "La mayoría de las sales de los metales alcalinos son muy solubles en agua", o "La mayoría de los mamíferos tienen pelos". 'La mayoría de' y 'casi todos' no han merecido nunca el respeto de los lógicos, que los tratan junto con 'hay al menos un'; pero en la ciencia su estatus es mucho más alto que el del operador existencial; una fórmula con 'casi todos' puede ser una ley propiamente dicha, y una fórmula con 'la mayoría de' puede ser la promesa de una ley universal.

La importante ley del aumento de la entropía es una típica ley con 'casi todos': "Si un sistema es aislado, entonces en casi todos los casos pasará a estados de mayor entropía". Innumerables teoremas de la física estadística llevan prefijadas expresiones como 'para casi todos los puntos', o 'para casi todas las trayectorias'; y pese a ser cuasi-universales se las considera fórmulas legaliformes perfectamente respetables. En la matemática, la expresión análoga 'con la excepción de un conjunto de medida cero' se encuentra con frecuencia en teoremas generales, y nadie se atreverá a negar la generalidad de esos enunciados, aunque el conjunto que constituye la excepción puede ser infinito. Las leyes estrictamente universales, o sea, las fórmulas legaliformes que no tienen excepciones y poseen un alcance infinito, se formulan muy frecuentemente, pero, de hecho, eso no prueba que efectivamente valgan con esa generalidad sin límites. Las leyes microscópicas, que son en realidad promedios o resultados de macroleyes, no carecen, ciertamente, de excepciones, aunque por regla general no se enuncie la tasa de excepción. En cualquier caso, las fórmulas legaliformes cuasi-universales son tan valiosas como los enunciados legaliformes estrictamente universales, especialmente si (*i*) es posible dar razón de las excepciones esperables, y (*ii*) no son generalizaciones empíricas, sino miembros de teorías.

Entre los enunciados legaliformes no-universales, los más curiosos son los manifiestamente estadísticos. Las *leyes estadísticas* más simples son tal vez las de porcentajes, como "El 50% de los automóviles que tienen más de cinco años están fuera de uso en los Estados Unidos de América". Esta generalización empírica no se refiere a cada individuo de una determinada clase: los porcentajes (o, lo que es lo mismo desde este punto de vista, las frecuencias relativas) no son propiedades de individuos, sino propiedades no hereditarias, no-distributivas, o sea, propiedades colectivas que no pueden distribuirse entre los miembros de la colección. Un breve análisis dejará esto en claro, suscitando, por otra parte, importantes cuestiones. La forma de nuestra generalización estadística es "La fracción f de los A son B". Sean 'Card (A)' y 'Card (B)' las expresiones que designan los números de los miembros, o cardinalidad, de los conjuutos A y B respectivamente. En nuestro caso, Card (A) es el número de automóviles de más de cinco años, y Card (B) es el número de automóviles fuera de uso, sean viejos o no. Entonces el conjunto de los

automóviles que son a la vez de cinco años (A) y fuera de uso es la intersección $A \cap B$. Y la fracción de los automóviles fuera de uso en la clase de referencia (automóviles viejos) es por tanto Card ($A \cap B$)/Card (A). Consiguientemente, nuestra generalización puede formularse así: Card ($A \cap B$)/Card (A) $= f$, expresión en la cual f designa una fracción entre 0 y 1, en nuestro ejemplo, $f = 0{,}5$. Es claro que ese enunciado estadístico no se refiere a los sistemas individuales que son los automóviles, sino a clases. Además, no tiene forma condicional.

Se pueden introducir individuos si, en vez del concepto empírico de porcentaje (o frecuencia relativa), utilizamos el concepto teorético de probabilidad. De hecho, el enunciado acerca de la fracción de automóviles fuera de uso en la clase de los automóviles viejos puede traducirse al siguiente *enunciado probabilitario*, que no es equivalente: "La probabilidad de que un miembro cualquiera de A se encuentre en B es igual a p", fórmula en la cual p es un número próximo a la frecuencia f. Más precisamente: si A es un conjunto no-vacío (o sea: $A \neq \varnothing$) y x es miembro de A, entonces la probabilidad de que x se encuentre en $A \cap B$ dado que x pertenece a A es igual a p. Simbólicamente: $A \neq \varnothing \rightarrow P(x \in A \cap B \mid x \in A) = p$. El llamar a esto una *traducción* del enunciado correspondiente relativo a porcentajes puede ser equívoco, porque las dos fórmulas no son equivalentes. En primer lugar, a diferencia del enunciado de frecuencia, su "traducción" a probabilidad refiere simultáneamente a clases concretas y a un individuo sin determinar. En segundo lugar, el hecho de que la variable numérica p del functor de probabilidad pueda considerarse igual a la fracción o al porcentaje observado, f, no significa que p sea lo mismo que f: (*i*) mientras que p es un concepto teorético, f es un concepto empírico y (*ii*) mientras que el valor de p se supone fijo, los varios valores de f, empíricamente hallados, son otras tantas estimaciones del valor único p. (Un enunciado de porcentaje no necesita contener conceptos teoréticos, aunque puede tenerlos, mientras que los enunciados de probabilidad no pueden dejar de ser por lo menos semi-teoréticos, aunque recojan números empíricamente hallados.) En tercer lugar, aunque f puede considerarse igual a p numéricamente, no significa lo mismo que p: en el caso de la generalización estadística se trata de una propiedad colectiva (no distributiva), mientras que en el caso del enunciado probabilitario se trata de una propiedad (potencial) de cada uno de los miembros de la clase de referencia, A. Además, la introducción de un número empíricamente hallado, como f, en el enunciado probabilitario tiene que justificarse mediante una regla de método que declare que el valor numérico de una probabilidad puede alcanzarse aproximadamente mediante la correspondiente frecuencia a largo plazo. En conclusión: tenemos que distinguir entre *enunciados estadísticos* (referentes, por ejemplo, a frecuencias relativas, módulos o dispersiones observadas) y *enunciados probabilistas* (que contienen probabilidades o parámetros que se presentan en distribuciones probabilitarias). Los primeros pueden ser enunciados no-teoréticos, o, más bien, semi-teoréticos, mientras que los últimos son enunciados teoréticos; los primeros no se refieren más que a propiedades colectivas; los segundos se refieren a individuos y clases a la vez. Los enunciados estadísticos y los probabilitarios pueden subsumirse unos y otros bajo el género de los *enunciados estocásticos.*

Algunos recalcitrantes deterministas de tipo clásico sostienen que los enunciados estocásticos no merecen el nombre de ley y deben considerarse, en el mejor de los casos, como expedientes transitorios. Esta opinión anacrónica no tiene ya vigencia alguna en

física, química y ciertas ramas de la biología (especialmente la genética), sobre todo desde que estas ciencias han descubierto que todas las leyes moleculares de su dominio son leyes estocásticas deducibles (en principio al menos) de leyes relativas a sistemas individuales, junto con determinadas hipótesis estadísticas referentes, por ejemplo, a las desviaciones casuales y su compensación. Pero el prejuicio contra las leyes estocásticas sigue perjudicando aún en psicología y sociología, ciencias en las cuales sirve para lanzar ataques contra el planteamiento estocástico sin compensar la pérdida del planteamiento estocástico con un estudio científico de los individuos. Ahora bien: es imposible dar cuenta adecuadamente del comportamiento de un individuo –sea un átomo, un sujeto humano o una comunidad– sin tener en cuenta las fluctuaciones espontáneas internas y las perturbaciones externas, y unas y otras tienen componentes casuales. El procedimiento para dominar el azar consiste en mirarle cara a cara, en vez de negarlo, y en descubrir sus leyes, reconociendo con ello su existencia objetiva. El azar es un fantasma dañino sólo en el caso de que se le considere como un caos sin ley o como algo último, como un modo de ser que se sustrae a todo análisis ulterior.

Se observará que, al escribir nuestra ley probabilitaria, e incluso alguna de las leyes consideradas en la sección anterior, prescindimos del cuantificador universal, o sea, que las formulamos como un enunciado acerca de 'cualquiera e indeterminado', no enunciados acerca de 'todos'; dicho de otro modo, dijimos algo acerca de un miembro arbitrario, x, de un conjunto A, y no acerca de todo miembro de A. Pero, como es natural, supusimos tácitamente que la ley vale para todo valor de x; si no, no la habríamos formulado siquiera. Esta significación mentada de la función proposicional en cuestión autoriza su cuantificación universal. Dicho de otro modo: aplicándole la regla de inferencia "Lo que vale para cualquiera vale para todos", inferimos el enunciado universal

$$(x)\ [A \neq \varnothing \rightarrow P(x \in A \cap B \mid x \in A) = p],$$

el cual es un condicional general.

Un enunciado acerca de cualquiera, como $P(x)$, no es equivalente a su generalización $(x)P(x)$, sino equipolente con ella, en el sentido de que cada uno de los dos enunciados es inferible del otro: son pues deductivamente equivalentes. Además, son también pragmáticamente equivalentes: (*i*) decir que un individuo cualquiera –o sea, cualquier individuo, o un individuo tomado al azar– tiene la propiedad P es tan eficaz como decir que todo individuo tiene dicha propiedad; (*ii*) para someter a contrastación la generalización "$(x)P(x)$" tomamos individuos cualesquiera, es decir, no privilegiados. Pero cuando no estamos dedicados a la aplicación ni a la contrastación de "$(x)P(x)$", esta fórmula no es equivalente a "$P(x)$". Las diferencias entre ambas son formales y semánticas, y merecen que se las precise porque son relevantes para la lógica de los enunciados legaliformes. La diferencia sintáctica entre un enunciado acerca de cualquiera y un enunciado acerca de todos es que el primero es más simple que el segundo. En la interpretación corriente (extensional), se supone que "$(x)P(x)$" es la conjunción de enunciados singulares obtenidos de "$P(x)$" mediante la atribución de valores determinados a x. Este desarrollo exige que x tenga como campo de variabilidad un universo numerable, o sea, que sea contable la clase $\{x \mid P(x)\}$. Pero ésa es una restricción muy severa que no puede satisfacerse por

fórmulas que contengan variables continuas. Por ejemplo, el enunciado "La gravedad es aproximadamente constante en todos los puntos de esta habitación" no puede desarrollarse como conjunción de proposiciones singulares cada una de las cuales se refiera a un punto de dicho volumen, porque ese conjunto de puntos es un conjunto continuo. Esta limitación de los cuantificadores universales a universos numerables no tiene, naturalmente, relevancia para los enunciados sobre cualquiera. En cambio, por lo que hace a significación manifiesta, '$P(x)$' carece de sentido aunque se especifique el valor de P: no tiene referencia o, si se prefiere decirlo así, su correlato es el individuo sin especificar designado por 'x'. Si una fórmula no tiene sentido, entonces tampoco es contrastable, puesto que para averiguar si algo tiene efectivamente una propiedad dada o no la tiene, es necesario que esa cosa tenga esa propiedad o no la tenga. Apliquemos estas consideraciones a un elemental enunciado legaliforme.

La ley galileana de caída libre de los graves suele escribirse de la forma siguiente:

$$s(t) = \frac{1}{2} gt^2 + v_0 t + s_0 \qquad [6.3]$$

en la cual '$s(t)$' designa la distancia recorrida por el cuerpo durante el tiempo t, 'g' la aceleración de la gravedad, 'v_0' la velocidad inicial y 's_0' la posición inicial. Acabamos de formular las reglas semánticas necesarias para dotar a la fórmula matemática [6.3] de una significación factual; pero eso no basta, porque la fórmula en cuestión es un enunciado sobre cualquiera. Esto puede apreciarse fácilmente dándose cuenta de que se refiere a cualquier grave en caída libre, o sea, explicitando la variable individual. Para dar, pues, un referente fijo a la fórmula hay que identificar el cuerpo que cae. Y esto puede hacerse o bien dándole un nombre o bien dando los valores de su posición inicial, s_0, y su velocidad inicial v_0. De cualquiera de esos dos modos despojamos a [6.3] de su variable individual tácita, x, pero la fórmula sigue siendo abierta porque vale para cualquier tiempo. Si especializamos el valor de t, obtenemos un enunciado singular; también podemos, naturalmente, universalizar [6.3] para todo tiempo, pero esta operación no tiene ninguna ventaja visible inmediata: para fines de inferencia, usaremos la función proposicional [6.3], porque se la puede tratar como si fuera una proposición propiamente dicha. Consiguientemente, vamos a respetar la costumbre común de escribir los enunciados universales como si fueran enunciados con 'cualquiera', sin introducir los cuantificadores más que cuando sea necesario para fines de interpretación

Otra cuestión relativa a la forma lógica propia de las leyes universales: ¿por qué hay que dar a las leyes universales la forma de condicionales generales? La razón es semántica, más que sintáctica, a saber: que la forma condicional sugiere la *condicionalidad*, y ésta es una característica de los enunciados legaliformes que los diferencia de los enunciados meramente descriptivos. Cuando afirmamos "$p \rightarrow q$" no afirmamos que p ocurra de hecho, sino que si se da p, entonces se da q. Además, en el condicional se distinguen claramente –casi gráficamente– las condiciones *necesaria* y *suficiente*, lo cual no ocurre con ninguna otra forma equivalente que utilice conectivas simétricas, como "$-p \vee q$" y "$-(p \wedge -q)$". Así, el antecedente de "Si llueve se moja el suelo" es la condición suficiente del consecuente. La cosa queda mucho menos obvia en las formas equivalentes "O no llueve, o se moja el suelo", y "No ocurre que llueva y no se moje el suelo". (Dicho

sea de paso, en la ciencia formal es relativamente sencillo establecer si vale un condicional. "$p \rightarrow q$" es verdadero en un determinado sistema si q puede derivarse de p en ese sistema. En la ciencia factual no se cuenta con una regla tan sencilla: aquí tenemos que poder averiguar cuáles son las condiciones *físicamente* suficientes que interesan, y la lógica no puede prestar muchos servicios en esto. En general, podremos considerar que "$p \rightarrow q$" es factualmente verdadero si y sólo si conseguimos mostrar que p, que lógicamente es condición suficiente de q, expresa además una situación físicamente suficiente para que se cumpla q; y esto no puede averiguarse sino mediante una investigación teorético-empírica.) Por esa razón es el condicional una forma conveniente para la formulación de leyes.

Pero si nos decidimos a adoptar los condicionales, tenemos que cargar con las llamadas paradojas de la implicación; y ese cargar con ellas significa darse cuenta de que no son paradojas ni mucho ni poco. Por ejemplo, "$p \rightarrow q$" es verdadero para todo p falso; los condicionales con antecedente falso son *verdaderos de modo vacío*, y esto se considera muchas veces como una situación paradójica. Empecemos por observar que la atmósfera paradójica no iba a ser, por eso sólo, muy densa en la ciencia, puesto que en ella no tenemos mayor interés en afirmar condicionales cuyos antecedentes sepamos falsos. Tomemos, por ejemplo, el enunciado del tipo de ley "Si x e y son estructuras o funciones biológicas, y si x es más compleja que y, entonces x está menos sometida a cambios evolutivos que y". El antecedente es satisfactible y tiene alcance existencial: no es una mala presuposición fantasmal. En la ciencia, "$p \rightarrow q$" es normalmente la formalización de "Si se *supone* p, entonces vale q". Si la suposición p es falsa, el condicional sigue siendo válido, pero pierde todo interés. No exigiremos, sin duda, que todo antecedente sea verdadero: sabemos que es difícil alcanzar verdades factuales que sean estrictas e interesantes a la vez, y queremos conservar la libertad de formular hipótesis. Pero no llegaremos a exagerar esa libertad hasta el punto de formular condicionales cuyos antecedentes sean manifiestamente falsos. Tomemos, por ejemplo, el enunciado "Los videntes descubren todo secreto", simbolizable así: "$(x)\ (y)\ [V(x)\ \&\ S(y) \rightarrow D(x, y)]$". Este enunciado es verdadero de modo vacío porque $V(x)$ es falso para todos los valores de x, o sea, porque no hay videntes en el sentido espiritista del enunciado. Pero no aceptaremos esa verdad, porque es irrelevante, del mismo modo que el zoólogo no querrá interesarse por la verdad "Los centauros son sabios". Las verdades de ese tipo pueden obtenerse a millones, con sólo dar a una calculadora las instrucciones adecuadas para que dé a cada antecedente falso o insatisfactible consecuentes cualesquiera, como, por ejemplo, enunciados aritméticos.

Dicho de otro modo: no nos interesa acumular verdades irrelevantes, verdades referentes a entidades inexistentes o a condiciones imposibles. Cuando en el curso de la investigación formulamos un condicional, presuponemos normalmente la posibilidad de su antecedente, o sea, suponemos, tácita o explícitamente, que el antecedente de un condicional factual puede realizarse físicamente. No ocurre así, desde luego, con enunciados cuyas consecuencias lógicas queremos explorar: en esos casos se permite el científico la mayor libertad. Pero la anterior descripción vale sin ninguna duda para el caso de los enunciados legaliformes. Consideremos una ley $L(x)$ referente a un objeto indeterminado x, de una cierta clase; esa ley valdrá en ciertas condiciones $C(x)$, pues no es común

que una ley valga incondicionalmente. Lo que afirmamos es, pues, que si x satisface la condición C, entonces x satisface L también:

$$C(x) \rightarrow L(x) \quad [6.4]$$

A ese enunciado añadimos en sustancia la suposición de que la condición C es satisfactible; o sea, añadimos la presuposición de que *es posible que exista al menos un objeto x tal que x satisface la condición C.* (Esa suposición no nos impone el compromiso ontológico de afirmar la suposición, más fuerte, de que efectivamente *existe* tal objeto; la ulterior investigación puede luego mostrar que de hecho C es insatisfactible.) Esa presuposición, como cualquier otra, queda fuera de la inferencia deductiva en la que interviene el enunciado legaliforme, pero presta a éste el alcance existencial necesario para considerarle un enunciado legaliforme, y no una mera ficción. Así, por ejemplo, al deducir consecuencias de un conjunto de postulados referentes a alguna rara partícula nueva, no utilizamos la presuposición de que esa partícula puede existir, y aún menos la afirmación de que efectivamente exista; pero, en cambio, al establecer el conjunto de postulados sí que lo hemos sostenido mediante la presuposición existencial. Consiguientemente, la introducción del concepto modal de posibilidad –que sería un estorbo tanto para la inferencia cuanto para la contrastación– no exige abandonar la lógica ordinaria y adoptar algún sistema de lógica modal; éstos no se usan nunca en la efectiva inferencia científica.

Si tuviéramos que adoptar la versión fuerte de la suposición de existencia, completaríamos [6.4] obteniendo

$$(\exists x)C(x) \dashv [C(y) \rightarrow L(y)] \quad [6.5]$$

En esa fórmula, el signo de inferencia invertido, '$\dashv$', debe leerse 'es presupuesto por' (cf. sec. 5.1), y se han usado dos letras diferentes para la variable individual con objeto de mostrar claramente que el alcance del cuantificador existencial se limita a la primera vez que aparece la condición C. Pero como debemos admitir que acaso tengamos que abandonar la cláusula $C(x)$, será mejor que adoptemos la versión débil del supuesto existencial, escribiendo consiguientemente:

$$\Diamond (\exists x)C(x) \dashv [C(y) \rightarrow L(y)] \quad [6.6]$$

fórmula en la cual '$\Diamond$', que se lee 'rombo', significa "es posible que".

Las fórmulas del tipo [6.6] pueden llamarse condicionales satisfactibles. A pesar de serlo, también pueden resultar vacíos: la condición previa puede no resultar exactamente satisfecha, sino sólo aproximadamente. Por ejemplo, la ley de conservación de la energía no vale más que para sistemas cerrados (aislados), pero sólo el universo entero es un sistema perfectamente cerrado; cada una de sus partes está abierta en algún respecto. A la vista de esto, es claro que la presuposición de satisfacción posible del antecedente de una ley tiene que entenderse de un modo cualificado, a saber, así: "Es posible que haya al menos un sistema tal que cumpla o satisfaga *aproximadamente* la condición C". Pero entonces podría decirse exactamente lo mismo del consecuente L: o sea, tanto los enunciados

legaliformes cuanto sus condiciones previas son satisfactibles aproximadamente. Sin embargo, este enunciado metanomológico se refiere a la verdad de los enunciados legaliformes, y viene por tanto después de su contrastación, la cual tiene a su vez lugar después de la formulación de aquellos enunciados. Por tanto, no afecta a nuestra discusión de la forma de los enunciados legaliformes. En resolución: podemos tomar [6.6] como forma típica de los enunciados legaliformes universales, entendiendo que, dicho estrictamente, esa forma refiere a un modelo más o menos idealizado de la porción de realidad que pretende recoger: la ley se aplica exactamente al modelo, y más o menos aproximadamente al correlato real del modelo. Volveremos a hablar de esto en la sección 6.5.

Para continuar nuestro estudio del contenido de los enunciados legaliformes nos fijaremos en un ejemplo concreto, la ley de Galileo [6.3]. Hemos visto que un cuerpo en caída libre puede caracterizarse inequívocamente por un par de números, a saber, su posición inicial y su velocidad inicial: este par de números funciona como nombre del cuerpo. La posibilidad de especificar circunstancias especiales como éstas es característico de las leyes de bajo nivel, como la de Galileo, pero se pierde cuando se llega a leyes de nivel más alto, como el principio general de la dinámica que implica o acarrea la ley de Galileo. Si se especializa para la clase de los cuerpos en caída libre, este principio afirma que su aceleración –la cual puede simbolizarse por 'D^2s'– es una constante llamada g. (A diferencia de los parámetros que denotan la posición inicial y la velocidad inicial, g no es un parámetro individual, sino que especifica una clase de movimientos, a saber, el conjunto de los movimientos uniformemente acelerados. La caída libre en un campo gravitatorio no es más que una subclase de esa clase, y en este caso g se llama la aceleración de la gravedad.) Simbólicamente, el enunciado de alto nivel correspondiente a la ley de Galileo es

$$D^2s(t) = g \qquad [6.7]$$

('$D^2s(t)$', que también se escribe 'd^2s/dt^2', es la expresión abreviada de la derivada segunda de la distancia respecto del tiempo [6.7] es una ecuación diferencial. La mayoría de los enunciados legaliformes de las llamadas ciencias exactas tienen la forma de ecuaciones diferenciales; pero los enunciados más fuertes son ecuaciones integrales.) No se encuentra en [6.7] ninguna referencia a *circunstancias especiales*, como la posición inicial y la velocidad inicial. En general, los enunciados legaliformes de nivel alto no contienen referencias a características individuales específicas, ni tampoco a circunstancias especiales. Para conseguir que esos enunciados legaliformes de alto rango tengan contacto con datos relativos a los rasgos individuales de la realidad hay que someterlos a una profunda transformación formal, como la que lleva de [6.7] a [6.3], y hay que complementarlos con alguna información empírica, como, por ejemplo, los valores particulares de los parámetros g, v_0 y s_0, en el lugar concreto en que se están realizando las mediciones. Sólo un enunciado legaliforme de nivel bajo, como [6.3], puede absorber toda la información específica que es necesaria para compararlo con circunstancias especiales: los enunciados legaliformes de alto nivel quedan en cambio lejos de la experiencia. (En particular, las ecuaciones diferenciales tienen que integrarse antes de poder someterse a contrastación. El proceso de integración es precisamente el que introduce parámetros

empíricamente determinables, como v_0 y s_0.) Ésta es una de las razones por las cuales las fórmulas legaliformes de nivel alto no pueden obtenerse por "abstracción" a partir de los datos empíricos, sino que tienen que ser fruto de la actividad hipotetizadora. La relación leyes-datos tiene un solo sentido: partiendo de enunciados legaliformes podemos deducir enunciados singulares en los cuales insertar información empírica; pero no hay truco ni máquina que pueda convertir un montón de datos, por precisos, numerosos y relevantes que sean, en un enunciado de nivel alto. Lo único que puede inferirse de datos son enunciados del nivel más bajo, o sea, generalizaciones empíricas; y ni siquiera eso de un modo sin ambigüedades, sino de tal forma que esos enunciados quedarán aislados mientras no se invente algún principio unificador más fuerte (cf. sec. 6.3).

Vamos a explorar ahora otros aspectos semánticos del problema de las leyes.

Problemas

6.4.1. Simbolizar el enunciado legaliforme cualitativo "Cualquier objeto atrae a cualquier otro objeto." Obsérvese que la versión relativista de la ley de gravitación muestra que la interacción gravitatoria no es externa a los cuerpos afectados, sino que depende de su estado de tensión, el cual en algunos casos produce repulsión. Esta observación puede recordar que toda fórmula legaliforme tiene un dominio de validez limitado. Intentar insertar esta limitación en el antecedente de aquella ley.

6.4.2. Paquito aprende en la escuela que "El calor dilata y el frío contrae", en vista de lo cual utiliza ese enunciado que le han enseñado para explicar a Luisito por qué los días son más largos en verano que en invierno. ¿A quién hay que acusar: a Paquito, o al maestro? ¿Y por qué?

6.4.3. ¿En qué sentido es universal la ley de Lavoisier: "En un sistema aislado, la masa total de los reactivos es igual a la masa total de los productos de la reacción"?

6.4.4. La ley de Boyle sobre los gases ideales suele escribirse así: "$pV=$ cons." A menos que se suministre el contexto, no se trata de una ley física, sino de una fórmula matemática --y eso siempre que presupongamos que 'p' y 'V' son variables numéricas. Formular la ley de una forma completa, incluyendo una referencia a su universalidad espacio-temporal, lo cual, dicho sea de paso, es, en el caso de esta ley, una suposición falsa.

6.4.5. Simbolizar los siguientes esquemas de leyes estocásticas: (*i*) "El valor B medio de los A es b". (*ii*) "La dispersión de los valores B de A alrededor del valor medio de B es σ". (*iii*) "La distribución de los valores B en A es D". Hallar ilustraciones de esas formas.

6.4.6. Los lógicos modernos sostienen que la existencia no es una propiedad, y que el concepto de existencia (de cualquier tipo) es formalizado adecuadamente por el cuantificador "existencial". Cf. W. V. Quine, *Ontological Relativity and Other Essays*, Nueva York, Columbia University Press, 1969. Véase una crítica en M. Bunge, *Epistemología*, México, Siglo XXI, 1997, cap. 3.

6.4.7. Examinar las críticas formuladas por los partidarios de la psicología gestaltista (psicología de la forma) contra la búsqueda de leyes estadísticas y contra la preparación de contrastaciones estadísticas en el terreno de la psicología. Cf., por ejemplo, K. Lewin, "The Conflict Between Aristotelian and Galileian Modes of Thought in Contemporary Psychology", *Journal of General Psychology*, *5*, 141, 1031, y J. G. Taylor, "Experimental Design: A Cloak for Intellectual Sterility", *British Journal of Psychology*, *49*, 106, 1958.

6.4.8. Proponer una clasificación de las leyes científicas desde un punto de vista matemático, o sea, teniendo en cuenta los conceptos matemáticos que se presentan esencialmente en los enunciados legaliformes. Hay que notar que por lo menos el concepto de conjunto aparecerá en todo

enunciado legaliforme, de tal modo que en el fondo, puede decirse, no existen leyes totalmente no-matemáticas.

6.4.9. Trazar un paralelismo entre una ley científica explícitamente formulada en forma matemática y una canción. Examinar, en particular, si en los dos casos el contenido determina la forma, o viceversa.

6.4.10. Las ecuaciones de la propagación del calor y de la propagación de la electricidad son matemáticamente las mismas. ¿Implica eso que las leyes de la electricidad y las leyes del calor sean las mismas? Tomar en cuenta que se trata de un problema general: las mismas ecuaciones diferenciales se presentan, o se espera que se presenten, en todas las ramas de la física.

6.5. FÓRMULAS Y PAUTAS

¿A qué refiere –si es que refiere a algo– el término 'ley'? Un lexicógrafo cuidadoso podría decirnos que el término 'ley' no tiene un uso fijo, sino que se usa en varios sentidos: es un signo ambiguo que designa varios conceptos. El concepto jurídico de ley no nos interesa aquí: lo que nos interesan son las acepciones relevantes para la ciencia pura y la ciencia aplicada. En estos campos 'ley' cubre los siguientes conceptos: (*i*) pauta objetiva; (*ii*) fórmula (proposición o función proposicional) que intenta representar una pauta objetiva; (*iii*) fórmula que refiere a una pauta objetiva y a la experiencia; (*iv*) metaenunciado que refiere a un enunciado legaliforme; y (*v*) regla basada en un enunciado legaliforme (cf. fig. 6.7). Evitaremos confusiones entre esas varias significaciones adoptando las convenciones siguientes:

Conocer	*Fórmula metanomológica* (esquema de enunciados legaliformes)	*Regla fundamentada* (prescripción tecnológica)	*Hacer*
	Fórmula legaliforme (conocimiento de la ley)	*Fórmula nomopragmática* (contrastación y uso de la fórmula legaliforme)	
Ser	*Ley* (pauta objetiva)		

FIGURA 6.7. Significaciones de 'ley' en la ciencia.

'*Ley*' (o 'ley objetiva', o 'pauta nómica') designa un patrón objetivo de una clase de hechos (cosas, acontecimientos, procesos), o sea, cierta relación constante o red de relaciones constantes que se cumplen realmente en la naturaleza, las conozcamos o no. En este sentido de estructura nómica, una ley es un objeto extra-conceptual, como el fluir de un río. Pero, a diferencia del fluir del río, no puede indicarse ostensiblemente sus leyes: no es perceptible. Dicho brevemente, el concepto de ley objetiva carece de sentido empírico, lo que muestra ya que no es un concepto trivial. No podemos presentar un ejemplar de ley objetiva, pero sí podemos usar una descripción determinada, como "La ley referida

por el principio de Arquímedes". Reconozcamos o no la existencia de leyes objetivas, el hecho es que necesitamos ese concepto, aunque no sea más que para argüir contra la hipótesis filosófica de que hay leyes subyacentes a los enunciados legaliformes.

'*Fórmula legaliforme*' (o 'enunciado nomológico') designa una proposición o función proposicional que se supone normalmente que describe una ley o una parte de una ley (pauta nómica). Una fórmula legaliforme es un objeto conceptual, a saber, una hipótesis científica que satisface ciertos requisitos de generalidad, corroboración y sistematicidad (cf. sec. 6.6). No hay necesidad de decir que las leyes que hallamos en los textos científicos son en su mayor parte enunciados legaliformes.

'*Fórmula nomopragmática*' designa una proposición o función proposicional parecida a una ley y que refiere, al menos parcialmente, a la experiencia, y en particular a experiencia científica. Ejemplo: "Si se deja sin sostén un cuerpo cerca de la superficie de la Tierra, se le verá caer hacia ella". Este enunciado contiene términos pragmáticos, como 'dejar' y 'ver'. Consiguientemente, se refiere a la vez a una clase de hechos objetivos y a nuestro comercio con ellos. Por decirlo con símbolos groseros, pero sugestivos; Enunciado nomopragmático = Enunciado legaliforme de nivel bajo + Términos pragmáticos.

'*Fórmula metanomológica*' designa una ley referente a las fórmulas legaliformes de una determinada clase, y expresa rasgos efectivos o deseables de las fórmulas legaliformes. Ejemplo: "Las fórmulas legaliformes de nivel alto son invariantes respecto del observador". Las fórmulas metanomológicas se encuentran en la ciencia factual y en la metaciencia; no retratan leyes de la naturaleza ni de la sociedad, sino que tratan de nuestras ideas científicas acerca de esquemas objetivos.

'*Regla fundamentada*' designa una regla basada en una o más fórmulas legaliformes y que nos permite conseguir un objetivo predeterminado (cf. sec. 11.2). Ejemplo: "Para evitar que se oxide el hierro, manténgase seco".

Las leyes objetivas, si se admite su existencia, tienen que situarse en la realidad; las fórmulas legaliformes, las fórmulas nomopragmáticas y las reglas fundamentadas, se situarán en la ciencia pura y aplicada; y las fórmulas metanomológicas se sitúan en parte en la ciencia y en parte en la metaciencia. Planteémonos ahora algunos problemas filosóficos relativos a los anteriores conceptos; las fórmulas metanomológicas se discutirán en 6.7, y las reglas fundamentadas en la sección 11.2.

La mayoría de los investigadores parecen aceptar tácitamente la existencia de leyes objetivas, al menos cuando están inmersos en la investigación misma; pero esto, naturalmente, es un dato relevante para la investigación científica de las creencias filosóficas de los científicos, y, ya sea que nuestra anterior afirmación quede confirmada, ya quede refutada por esa investigación, el resultado no tendrá efecto alguno sobre el valor veritativo de la hipótesis de que la investigación científica presupone esa hipótesis metafísica. La realidad de pautas objetivas es cosa que admitirá toda persona que piense que el objetivo central de la ciencia es el *descubrimiento* de pautas objetivas, descubrimiento que se considera conseguido, parcialmente al menos, cuando ciertas *invenciones* –enunciados legaliformes– superan ciertas contrastaciones. La proposición "Lavoisier descubrió la ley de conservación de la masa" no significa que Lavoisier hiciera una perquisición de una cantera de leyes y se llevara –descubriera– una cosa ya lista llamada 'la ley de conservación de la masa'. Lo que hizo Lavoisier fue construir un objeto conceptual que no había

existido hasta entonces, a saber, el enunciado legaliforme que reproduce correctamente la correspondiente ley objetiva. Dicho brevemente: las fórmulas se inventan, las leyes se descubren.

Por eso las fórmulas legaliformes pueden caracterizarse como *reconstrucciones conceptuales de leyes objetivas*. (Ésa sería una definición propiamente dicha si "ley objetiva" fuera un concepto primitivo de alguna teoría metacientífica; pero hemos definido tácitamente el concepto "ley objetiva" como correlato de una fórmula legaliforme.) Esas reconstrucciones conceptuales no son meras imágenes o reflejos de leyes objetivas, sino genuinas creaciones de la mente humana, creaciones, desde luego, conseguidas con la ayuda de material conceptual preexistente y que aspiran a reproducir fielmente esquemas objetivos. Desde este punto de vista una fórmula legaliforme no difiere de una proposición empírica singular como "El Sol está ahora en el cenit": tampoco esta proposición se descubre. A veces se descubren hechos; pero los enunciados sobre hechos y, *a fortiori*, los enunciados acerca de la estructura de los hechos, no se descubren, se hacen o producen.

En cierto sentido, la historia de la ciencia factual es la historia del intento de descubrir leyes objetivas de la naturaleza y de la sociedad. En cada campo de investigación los resultados de ese intento constituyen una secuencia temporal de fórmulas legaliformes: $L_1, L_2, \ldots, L_n$. Ese movimiento es zigzagueante, pero muestra a largo término una tendencia al perfeccionamiento: cada una de las fórmulas legaliformes propuestas para cubrir una ley objetiva puede no ser, tomada suelta, mejor aproximación que su predecesora, pero el conjunto de la secuencia tiende hacia un límite ideal, desconocido e inalcanzable, de adecuación perfecta al esquema objetivo. (Cf. fig. 6.8). Sería difícil entender por qué sigue adelante ese laborioso proceso de aproximación sucesiva (pero no de perfeccionamiento uniforme) si no se tuviera en cuenta la convicción (metafísica) de que existen leyes.

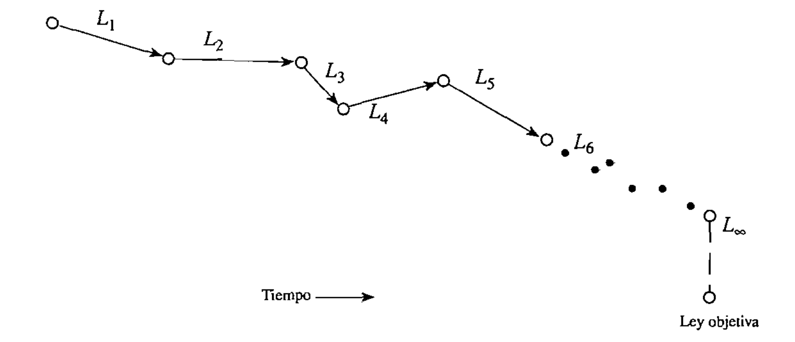


FIGURA 6.8. Representación simbólica de los pasos sucesivos hacia el límite ideal del enunciado legaliforme completamente verdadero, L_∞. Obsérvese la regresión temporal L_3, probablemente debida al defecto de una mala filosofía de la ciencia.

Cada una de las aproximaciones sucesivas halladas en la búsqueda de leyes tiene un propio *dominio de validez*. Ejemplo 1: La ley kepleriana de la refracción de la luz, "$i/r = n$", es válida para ángulos pequeños (cf. 6.2, fig. 6.4). Ejemplo 2: La ley galileana

"La aceleración de la gravedad es constante" es una aproximación de primer orden (orden mínimo) a una ley más compleja, en la cual la aceleración de la gravedad depende de la altura y del radio de la Tierra (cf. problema 6.5.2). Ejemplo 3: "En una amplia población animal, si el apareamiento es al azar, las proporciones genotípicas no varían de una generación a otra (o sea, la población se mantiene genéticamente estable)". Esta ley (de Hardy-Weinberg) pierde todo interés si no se satisfacen las condiciones indicadas en el antecedente del enunciado (gran población y apareamiento al azar); pero, además, queda falsada por las mutaciones y por la selección natural; o sea, que hablando estrictamente no vale para poblaciones reales sino en primera aproximación.

Los anteriores ejemplos, que podrían multiplicarse indefinidamente, sugieren la conclusión siguiente: Toda fórmula legaliforme tiene un dominio de validez limitado, más allá del cual resulta precisamente falsa. Esa afirmación es una sana fórmula metanomológica, que nos pone en guardia contra la fe dogmática en la verdad indestructible de la última fórmula legaliforme descubierta. Una fórmula recién hallada no es probablemente más que un miembro de una secuencia de hipótesis. La tendencia general de la secuencia es la de un perfeccionamiento incesante, pero la disminución del error no lo suprime enteramente. Hasta el momento, nuestra fórmula metanomológica sobre el dominio de validez de los enunciados legaliformes no tiene más que un apoyo empírico; en el capítulo 8 se le dará una justificación teorética sobre la base de un examen del modo como se construyen los sistemas científicos, a saber, concentrándose sobre un puñado de rasgos y descartando los que se consideran variables secundarias.

Una aproximación de primer orden suministra una base para ulteriores exploraciones en búsqueda de aproximaciones de orden superior. Toda discrepancia entre una fórmula legaliforme y los hallazgos empíricos correspondientes, si se interpreta a la luz de alguna hipótesis, se convierte en una nueva fuente de información, y es así algo más que mera evidencia desfavorable o negativa. Ejemplo 1: Las desviaciones respecto del movimiento rectilíneo sugieren la presencia de fuerzas. Ejemplo 2: Las desviaciones respecto de la ley de los gases ideales son ya en sí mismas como una alusión a la dimensión y a las interacciones de las moléculas, porque esa ley supone que las moléculas son puntuales y no están en interacción. Ejemplo 3: Si una amplia población animal con apareamientos al azar no se mantiene genéticamente estable, la ley de Hardy-Weinberg nos sugerirá que busquemos factores que ella misma no tiene en cuenta, como son las mutaciones y la selección natural. En resolución: la búsqueda de leyes es como un proceso de crecimiento en el cual los nuevos estados de desarrollo se producen a partir de los anteriores y aumentan la capacidad de enfrentarse con nuevos problemas.

La hipótesis de que hay leyes objetivas que intentamos recoger en nuestros enunciados legaliformes resuelve cierta cantidad de dificultades y, a su vez, plantea algunos problemas difíciles. Uno de ellos es el de si toda fórmula legaliforme corresponde a una ley objetiva. La respuesta más verosímil es que no, por las siguientes razones: (*i*) Para someter a contrastación una ley de nivel alto tenemos que empezar por derivar de ella conclusiones que estén lo suficientemente cerca de la experiencia y esto requiere muchas veces la ayuda de otros enunciados de nivel alto de alguna teoría; (*ii*) a menudo conseguimos comprimir varias fórmulas legaliformes en un solo axioma muy fuerte; además, los postulados de toda teoría cuantitativa pueden condensarse de ese modo (a saber, en un solo

principio variacional). Todo lo que entonces podemos conjeturar es que todo sistema de fórmulas legaliformes, o sea, toda *teoría*, es una reconstrucción conceptual de un número desconocido de esquemas objetivos interrelatados.

La relación hecho-fórmula no es nada sencilla. No es posible señalar un hecho perceptible (un fenómeno), diciendo al mismo tiempo, por ejemplo: 'Miren ustedes los hechos cubiertos por el enunciado legaliforme que acabo de escribir en la pizarra'. Y no podemos hacer eso porque todos los hechos conocidos son muy complicados: se caracterizan por un número de variables grande y desconocido, mientras que las fórmulas legaliformes correlatan exclusivamente un puñadito de variables (cf. sec. 6.2). Las fórmulas legaliformes, en efecto, no expresan "relaciones uniformes entre hechos" (como se dice tradicionalmente), sino relaciones invariantes entre *aspectos seleccionados* de los hechos, y esos aspectos no suelen estar en la superficie.

Los hechos son tan complejos que, si deseamos hallar sus leyes, tenemos que empezar por analizarlos y hacer abstracción de la mayoría de sus propiedades, para no fijarnos más que en unas pocas cada vez. Según eso, un solo y mismo hecho exigirá varias fórmulas legaliformes para su explicación. Además, es muy probable que ni un solo hecho real quede nunca totalmente explicado por un conjunto de fórmulas legaliformes, por grande que sea éste. Una fórmula legaliforme no puede dar razón más que de *un aspecto de un modelo ideal* de un sistema real. Además, podemos decir que toda fórmula legaliforme propiamente dicha, a diferencia de las generalizaciones empíricas, tiene dos correlatos: un *correlato inmediato*, que es la representación esquemática (el modelo ideal) del sistema real, y un *correlato mediato*, que es el sistema real mismo (cf. fig. 6.9). Por ejemplo, la física clásica de los cuerpos sólidos es compatible con tres modelos de sólido al menos: la sustancia continua, el sistema de puntos de masa inextensos y el sistema de átomos extensos. Las ecuaciones correspondientes, que tratan los sólidos como totalidades, se aplican con la misma exactitud a esos tres modelos idealizados, y con inexactitud a los sólidos reales. Volveremos a tratar esta cuestión en el capítulo 8.

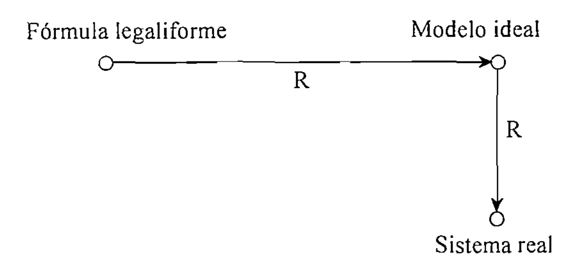


FIGURA 6.9. Los correlatos de una fórmula legaliforme: el inmediato y el mediato.

Sólo las leyes de nivel bajo, junto con elementos de información, pueden describir aspectos seleccionados de hechos perceptibles (fenómenos). Así, el aspecto cinemático del movimiento de una bala en el aire quedará descrito, en primera aproximación, por la ley galileana de caída libre, que es ella misma una consecuencia deductiva de las leyes newtonianas del movimiento; se obtendrá una aproximación mejor si la resistencia del

aire se representa en el enunciado legaliforme de nivel superior y si se resuelve la formulación de este último. Pero incluso entonces lo único que cubrirán estas leyes será el aspecto cinemático, mientras seguirán despreciando los demás aspectos del movimiento del proyectil, como son su calentamiento, su pérdida de gases, la producción de ondas sonoras, etcétera.

*Las leyes de nivel bajo que describen fenómenos perceptibles contienen parámetros que, cuando se especifican, permiten la *individualización* del objeto de que se trate; en el caso de la caída libre esas constantes eran la posición inicial y la velocidad inicial (cf. sec. 6.4). Ahora bien: los valores de muchas de las constantes que caracterizan un objeto individual, aunque no *dependen* del observador, son *relativas* a las condiciones de observación. Así, por ejemplo, las posiciones y velocidades iniciales tienen que registrarse por relación a un determinado marco de referencia. Y como hay infinitos marcos de referencia posibles, hay también infinitos valores diferentes para la mayoría de las constantes que intervienen en las leyes de bajo nivel. Algunas de esas cantidades, como el número de partículas, la presión y la carga eléctrica, son *invariantes* cuando cambian los marcos de referencia; pero la mayoría de las demás cantidades cambia con esas transformaciones. En resolución: las leyes de nivel bajo por medio de las cuales se describen los fenómenos son relativas a los sistemas de referencia.

La relatividad de las leyes de nivel bajo no debe interpretarse en sentido subjetivista: 'x es relativa al sistema de referencia del observador y' no significa necesariamente "x depende del observador y". Las fórmulas, infinitamente varias, recíprocamente vinculadas por cambios en el sistema de referencia son todas equivalentes, al menos en lo pequeño; dicho de otro modo: todos los sistemas de coordenadas son localmente equivalentes, ninguno está físicamente privilegiado, ni siquiera el elegido por conveniencias de observación o de cálculo. Entre los infinitos sistemas de referencia posibles suelen elegirse dos, preferidos a todos los demás: el marco propio del objeto, o sea, aquel en el que se mueve, y el del laboratorio, o sea, el marco respecto del cual se hacen las observaciones y las mediciones. Por de pronto, un objeto físico se estudia del mejor modo en su propio marco de referencia: en relación con ese marco único se calculan los valores de propiedades como la masa y la duración. Pero la *contrastación* empírica de cualquier consideración teorética de este tipo exige una relación con el marco de referencia del laboratorio. La elección del marco propio para fines teoréticos presupone la hipótesis ontológica de la (posible) existencia autónoma del objeto. Y la elección del marco del laboratorio para fines de contrastación presupone la hipótesis epistemológica de que los enunciados acerca de objetos que existen autónomamente no son sometibles a contrastación más que si se transforman en enunciados sobre las relaciones objeto-laboratorio.

La equivalencia local de todos los sistemas de referencia es un postulado de las teorías relativistas. Si se satisface, tiene el siguiente importante resultado: *las leyes de nivel alto son válidas en cualquier sistema de referencia* (sistema de coordenadas de espacio y de tiempo). Dicho de otro modo: las leyes, de nivel alto, a diferencia de las de nivel bajo, son invariantes respecto de los cambios en la elección del sistema de referencia; en particular, son *independientes del observador*. En resolución: mientras que las leyes de nivel bajo son relativas al marco de referencia, las leyes de nivel alto son *absolutas*. Las leyes de nivel alto son pues el reflejo más fidedigno de las leyes objetivas.

Las anteriores observaciones pueden formularse de nuevo del siguiente modo. Hagamos que '$L = 0$' simbolice una ley de nivel alto relativa a ciertas propiedades. L puede descomponerse en dos factores, A, y S, del siguiente modo: $L = AS$, siendo A cierto operador que se aplica a la solución, S, de la ecuación que constituye el enunciado legaliforme. Respecto de un marco de referencia dado, R, tenemos pues $L = AS = 0$. Respecto de otro marco de referencia diferente, R^*, A se convertirá en A^*, y S en S^*, pero de tal modo que el cambio de A quedará exactamente compensado por el de S, con lo que la ley de nivel alto L será idéntica a su transformación L^* o sea: $L^* = A^* S^* = 0$. La estructura de la ley de nivel alto (el modo como se interrelacionan sus elementos) no cambia porque se cambie el marco de referencia, o, si se prefiere decirlo así, porque se haga nueva elección de las condiciones de observación. Pero su solución sí que cambiará, y, con ella, la descripción de los fenómenos, que se realiza sobre la base de esas soluciones no-invariantes. Dicho sea de paso, el cálculo tensorial es un instrumento matemático natural para establecer ecuaciones básicas invariantes y cantidades invariantes, como los productos escalares.*

Supongamos ahora una ley dada de alto nivel, L, que describe cierto aspecto de una clase de fenómenos. Dado un determinado hecho F de esa clase, habrá una *clase potencialmente infinita de fenómenos*, φ, que correspondan a ese solo hecho, puesto que éste puede contemplarse en principio desde infinitos puntos de vista, o sea, puede observarse y describirse por operadores vinculados a infinitos marcos de referencia (cf. figura 6.10).

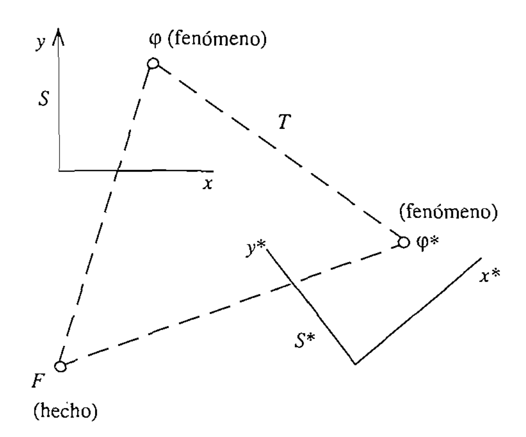


FIGURA 6.10. Un solo hecho, F, se ve y se describe como fenómeno φ respecto del marco de referencia R, y como otro fenómeno diferente, φ*, respecto del sistema de referencia diferente R^*. Por lo que hace a la transformación T que relaciona φ y φ*, cf. 6.7.

La relatividad de las leyes de nivel bajo corresponde a la infinidad potencial del número de fenómenos, mientras que el carácter absoluto de las leyes de nivel alto corresponde a la unicidad del hecho objetivo. Esta circunstancia basta para destruir el fenomenismo o fenomenalismo.

Como la ciencia aspira a la objetividad, tiene que aspirar al mismo tiempo a leyes de nivel alto, o sea, a fórmulas legaliformes independientes de la apariencia y de las circunstancias. La introducción de conceptos no-observacionales y de enunciados legaliformes

diafenoménicos no es, pues, sólo un expediente impuesto por la inobservabilidad de la mayor parte de la realidad, sino también un componente de la búsqueda de objetividad. Sólo para aplicar o contrastar las fórmulas legaliformes tenemos que bajar (deductivamente) de ellas para poder especificar las circunstancias en las cuales tiene lugar el uso o la contrastación.

En cuanto que se introducen datos individuales en un enunciado, se introduce también en él la experiencia, y se produce una *fórmula nomopragmática*. Consideremos, por ejemplo, el siguiente enunciado, de nivel bajo, de la ley de caída libre de los graves, esto es, de "$s(t) = 1/2gt^2 + v_0t + s_0$". Para someterlo a contrastación o para utilizarlo tenemos que establecer un cierto marco de referencia que incluya un origen temporal convencional y otro origen posicional también convencional; registraremos los resultados de nuestras mediciones y de nuestras predicciones de acuerdo con esos ceros convencionales. Supongamos una medición dada, con un 0,1 por ciento de error, y que da las cifras siguientes: $g = (9{,}80 \pm 0{,}01)$ m/seg; $v_0 = (0 \pm 0{,}001)$ m/seg; y $s_0 = (1 \pm 0{,}001)$ m. Introduciendo estos datos en la fórmula legaliforme de bajo nivel, podemos hacer la siguiente predicción singular relativa a la posición que alcanzará el cuerpo al cabo de 2 segundos: "$s(2) = (20{,}600 \pm 0{,}023)$ m". Una versión de ese resultado en lenguaje ordinario puede ser más o menos la siguiente: "Dos segundos después de dejar libre al cuerpo en la posición 1 respecto de nuestro sistema de referencia, el cuerpo alcanza la posición 20,6 con un error de más o menos 23 mm". Este experimento se presenta con la pretensión de ser verdadero respecto de un hecho objetivo y respecto de un hecho experimentado.

En suma: igual que distinguimos entre una proposición factual y el hecho al que refiere, así también distinguimos entre las fórmulas llamadas 'leyes científicas' y sus correlatos, los cuales son esquemas de la realidad en el caso de las fórmulas nomológicas, esquemas de realidad percibida (fenómenos) en el caso de las fórmulas nomopragmáticas, y esquemas de fórmulas legaliformes en el caso de las fórmulas metanomológicas.

Problemas

6.5.1. Discutir la ley de Van der Wals, que se refiere a un gas ideal de moléculas en interacción y de dimensión no despreciable. ¿En qué dominio da de sí esa ley el enunciado legaliforme conocido con el nombre de ley de Boyle-Mariotte-Charles? ¿En qué dominio es importante el volumen finito de las moléculas? ¿Y en qué dominio se hacen "sentir" las fuerzas intermoleculares? Cf. J. M. H. Levelt, *American Journal of Physics*, *28*, 192, 1960.

6.5.2. Según la teoría elemental de la gravitación, la aceleración de la gravedad, g, a una altura, h, por encima de la superficie de un cuerpo esférico de masa M y radio R es

$$g = \frac{GM}{(R+h)^2} = \frac{GM}{R^2}\left(1 - 2\frac{h}{R} + 3\frac{h^2}{R^2} - \ldots\right),$$

fórmula en la cual 'G' es la constante universal de gravitación y '...' simboliza la serie infinita, pero convergente, de los términos de la forma general $(-1)^n\,(n+1)\,(h/R)^n$. Precisar las aproximaciones de primer y segundo orden y averiguar si la aproximación de primer orden bastaría para estudiar un satélite artificial que vuele a una altura $h = 2R/10$ (que es, aproximadamente, 1 200

km en el caso de nuestro planeta). *Problema en lugar de ése*: Llevar a cabo un análisis análogo de cualquier otra ley conocida, con varios grados de aproximación, como la ley de oscilación de un péndulo ideal para amplitudes cualesquiera.

6.5.3. A falta de fuerzas destructivas y si se suministran sin límites energía y alimentos, cualquier colección de sistemas que se autorreproduzcan crecerán por interés compuesto constante, o sea, según la ley exponencial de Malthus (curva (*i*) de la figura 6.11). Las poblaciones reales obedecen en la mayoría de los casos a otras leyes de crecimiento; una ley frecuente es la de disminución de la tasa de crecimiento, o curva de interés compuesto decreciente (curva (*ii*) de la figura 6.11). ¿Qué puede inferirse de la desviación del crecimiento real respecto de la hipótesis del crecimiento ilimitado (curva (*i*))?

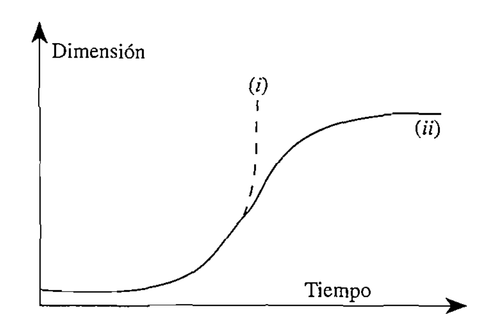


FIGURA 6.11. Crecimiento de sistemas de unidades auto-reproductoras. (*i*) La ley del crecimiento exponencial; (*ii*) la ley sigmoide del crecimiento.

6.5.4. Informar acerca de alguno de los textos siguientes: A. N. Whitehead, *Adventures of Ideas*, 1933: Nueva York, Mentor Books, 1955, cap. 7, especialmente pp. 115-123. A. Shimony, "Ontological Examination of Causation", *Review of Metaphysics*, *1*, 52, 1947. M. Bunge, *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, cap. 4. *Problema en lugar de ése*: Discutir la doctrina fenomenista de Hume y Kant, según la cual las leyes se refieren a las apariencias (fenómenos) y "La ciencia natural no nos revelará nunca la constitución interna de las cosas" (Kant).

6.5.5. Realizar un examen crítico de las siguientes doctrinas sobre la naturaleza de las leyes: (*i*) *Sobrenaturalismo*: las leyes son normas impuestas a la naturaleza por un poder sobrenatural (Dios, el Logos, el Espíritu del Mundo, etcétera). (*ii*) *Nominalismo*: el término 'ley de la naturaleza' no tiene denotación (E. Boutroux, G. K. Chesterton, P. W. Bridgman). (*iii*) *Convencionalismo*: las leyes son esquemas a priori, cuadrículas manejables y sencillas en las cuales podemos figurar la experiencia (I. Kant, H. Poincaré, P. Duhem). (*iv*) Empirismo: las leyes científicas son *a*) esquemas mentales que resumen nuestra experiencia actual y/o potencial, o bien *b*) reglas que nos permiten actuar. (*v*) *Naturalismo*: las leyes son las vías del ser y del devenir; son, simplemente; y las leyes objetivas quedan aproximadamente recogidas por los enunciados legaliformes.

6.5.6. Comentar el siguiente texto de la obra de G. Orwell, *1984*, Nueva York, Signet Books, 1950, p. 201, párrafo en el cual el policía intelectual expone la filosofía del Gran Hermano: "Controlamos la materia porque controlamos la mente. La realidad está dentro del cráneo. Aprenderá usted gradualmente, Winston. No hay nada que no podamos hacer. La invisibilidad, la levitación: cualquier cosa. Podría flotar por encima de este suelo, como una burbuja de jabón, si deseara hacerlo. No lo deseo porque no lo desea el Partido. Tiene usted que liberarse de esas ideas propias del siglo XIX acerca de las leyes de la naturaleza. Las leyes de la naturaleza las hacemos nosotros."

6.5.7. Argumentar en favor o en contra de cada una de las tesis siguientes: (*i*) Las leyes dan

forma a los acontecimientos. (*ii*) Los acontecimientos dan forma a las leyes. (*iii*) Las leyes son la forma de los acontecimientos. *Problema en lugar de ése*: Examinar las siguientes dilucidaciones de las frases 'es físicamente necesario que' y 'es físicamente posible que': (*i*) "Es físicamente posible que *t*" equivale a "*t* es deducible de un conjunto de leyes y datos". (Dificultad: ¿qué pasa con las leyes causales?) (*ii*) "Es físicamente necesario que *t*" equivale a "*t* es deducible de un conjunto de leyes y datos". (Dificultad: ¿y qué pasa entonces con las leyes estocásticas?)

6.5.8. Comentar la doctrina de que las leyes científicas son generalizaciones de observaciones. Para encontrar exposiciones típicas de ese punto de vista consúltense: (*i*) C. S. Peirce, "The Laws of Nature and Hume's Argument Against Miracles", en P. P. Wiener (ed.), *Values in a Universe of Chance*: *Selected Writings of C. S. Peirce*, Nueva York, Doubleday Anchor Books, 1958: toda ley científica "es una generalización de una colección de resultados de observaciones" (p. 289), y "de tal naturaleza que de ella puede inferirse una serie sin fin de profecías o predicciones respecto de otras observaciones que no se encuentran entre las que basan la ley" (p. 290). (*ii*) H. Reichenbach, *Modern Philosophy of Science*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1959: "Una ley no es una descripción de lo observado, sino de lo observable" (p. 121). *Problema en lugar de ése*: Localizar los requisitos de invariancia impuestos a las leyes básicas en el tradicional sistema de problemas reposo-cambio.

6.5.9. La siguiente tabla expone un conjunto de resultados de observaciones de dos magnitudes, x e y, en instantes sucesivos. Como puede comprobarse fácilmente, la media de cada secuencia es cero. Esto da pie a las siguientes generalizaciones provisionales: "El valor medio de $x = 0$"

x	y
1	–8
–2	–2
5	9
3	1
–7	0

y "El valor medio de $y = 0$". A partir de eso inferimos provisionalmente que, aunque las dos variables tienen en general valores diferentes en un instante dado, y, además, no están correlatadas (como puede observarse), sin embargo "obedecen" a la misma *ley de promedios*. Obsérvese que al construir nuestras generalizaciones estadísticas hemos comprimido datos. En general, al construir promedios eliminamos información, y de tal modo que esa información no puede recuperarse por el mero análisis de la generalización estadística construida. ¿Es este procedimiento coherente con la doctrina de que las leyes científicas son generalizaciones fieles de observaciones? *Problema en lugar de ése*: Cuando uno huye del ruido de los *junke-boxes* por el procedimiento de tomar un avión supersónico, ¿viola las leyes básicas de la propagación del sonido?

6.5.10. Todo enunciado consta de elementos convencionales, a saber, de símbolos. En particular, los enunciados legaliformes contienen símbolos especiales, como los matemáticos, que pueden escogerse arbitrariamente, dentro de ciertos límites. ¿Prueba esto que los conceptos correspondientes se eligen también de modo arbitrario? ¿Y prueba que los enunciados legaliformes no son más que convenciones cómodas? Si lo fueran, ¿qué interés tendría someterlos a contrastación e intentar perfeccionarlos? *Problema en lugar de ése*: Examinar la difundida doctrina según la cual mientras se suponía que las leyes de la física clásica reflejaban un mundo de existencia independiente, las de la teoría de la relatividad y las de la teoría de los *quanta* describen el mundo en cuanto visto por observadores actuales o posibles.

6.6. REQUISITOS

"Los gorriones son muy movedizos" es una ley general verdadera, propia del conocimiento ordinario, pero no se considera una ley científica porque no sabemos la razón por la cual los gorriones son tan agitados: la etología de los pájaros no ha progresado hasta el punto de saber absorber esa ley de conocimiento común en una red de leyes científicas. El conocimiento común contiene un bloque de *generalizaciones empíricas* de esa clase, y todos organizamos una gran parte de nuestra vida cotidiana de acuerdo con ellas. Vale la pena recordar las siguientes características de esas leyes propias del sentido común: (*i*) se refieren a acontecimientos de la vida cotidiana; (*ii*) no presuponen ningún conocimiento especializado; (*iii*) no se someten a contrastaciones metódicas; (*iv*) son muy frecuentemente inducciones, o sea, resúmenes de hechos observados o inferidos; y (*v*) son aisladas, sueltas, no sistemáticas.

También la ciencia factual contiene generalizaciones empíricas. Pero éstas difieren de las leyes del conocimiento ordinario en los respectos siguientes: rebasan en alguna medida los acontecimientos de la vida cotidiana, se establecen con la ayuda de conocimiento especializado y se someten a contrastación empírica. Pero, al igual que las del conocimiento común, las generalizaciones empíricas científicas son también conocimiento *aislado*, no sistemático, y, la mayor parte de las veces, son generalizaciones de casos observados o inferidos. Ejemplo 1: "La mayoría de los intelectuales son progresistas". Seguramente un día la psicología social podrá explicar esa generalización que por ahora se explica con consideraciones caseras, por así decirlo, como "Los intelectuales son progresistas porque necesitan libertad para realizar su trabajo", "Los intelectuales son progresistas porque tienden a resolver todas las pugnas mediante la razón", etc. Una explicación así puede perfectamente ser verdadera, pero no apela a hipótesis sistémicas y, por tanto, no es científica. Ejemplo 2: "Las distancias medias de los varios planetas al Sol, expresadas en la unidad adecuada, satisfacen la función '$d(n) = 4 + 3.2^n$', fórmula en la cual 'n' representa el orden". Esta "ley" de Bode es una conjetura falsa que quedó efectivamente falsada con el descubrimiento de Neptuno y Plutón. A pesar de ello, da un valor aproximado incluso para la distancia entre Neptuno y el Sol –a saber, 388, en vez del número obtenido en la medición, que es 300– y Adams usó ese valor en los cálculos que llevaron al descubrimiento de Neptuno. Por tanto podría haber algo en el fondo de esta "ley" parcialmente verdadera –y hoy abandonada–, y sería interesante dar razón de sus aciertos igual que de sus excepciones. Ejemplo 3: "Los núcleos atómicos de número mágico son particularmente estables". Los números "mágicos" (de protones o de neutrones) son 2, 8, 20, 50, 82 y 126; estos números se averiguaron empíricamente, en la medida en que puede llamarse empírica la investigación nuclear. Pero el hallazgo estimuló, y hasta sugirió en parte, la construcción de un modelo del núcleo, tarea cuya finalidad es absorber la regularidad de los números "mágicos", o sea, obtenerla como una ley derivada de enunciados de más alto nivel.

Tanto las leyes del conocimiento común cuanto las generalizaciones empíricas de la ciencia son, pues, conocimientos aislados, y muy frecuentemente inducciones; pero en la ciencia se realiza un esfuerzo para incorporar todo elemento a un sistema. ¿Por qué deseamos teorizar o sistematizar las generalizaciones empíricas? En primer lugar, porque

queremos *fundamentarlas* (cf. sec. 5.5), y una manera de hacerlo consiste en derivarlas de suposiciones más fuertes pertenecientes a alguna teoría, lo cual consiste en explicarlas. En segundo lugar, porque deseamos también someter las generalizaciones empíricas a la *contrastación* que consiste en comprobar si son o no coherentes con el cuerpo del conocimiento. En tercer lugar, no deseamos generalidades meramente accidentales, coincidencias a corto plazo o casuales, como las coincidencias entre las manchas solares y las depresiones económicas: suponemos que los acontecimientos sometidos a leyes son en algún sentido *necesarios*, esto es, que no habrían podido ocurrir de otro modo dadas las mismas circunstancias. Ahora bien: sólo una teoría, o, más precisamente, una teoría representacional (no simplemente fenomenológica), puede suministrar un mecanismo capaz de mostrar que los acontecimientos recogidos por nuestro enunciado legaliforme están –o no están– sistemáticamente vinculados. (Sólo la sistematización puede suministrar la necesidad que Hume negó a las leyes.) En cuarto lugar, deseamos poder hacer *predicciones* dignas de confianza por medio de nuestros enunciados legaliformes, lo cual no es posible si éstos no expresan leyes. Estos puntos quedarán más claros con el examen de un par de ejemplos.

Ejemplo de un enunciado que no expresa una ley: series temporales al azar. Los índices de matrimonios, el número de accidentes de aviación y muchas otras variables son variables estadísticas casuales. Dicho de otro modo, si precisamos sus valores durante un cierto número de meses o de años obtenemos series que no muestran ni una tendencia a largo plazo ni una correlación sistemática entre los puntos sucesivos de la secuencia: las variaciones son casuales, en el sentido de que los valores sucesivos de la variable estadística son recíprocamente independientes, o aproximadamente tales (cf. fig. 6.12).

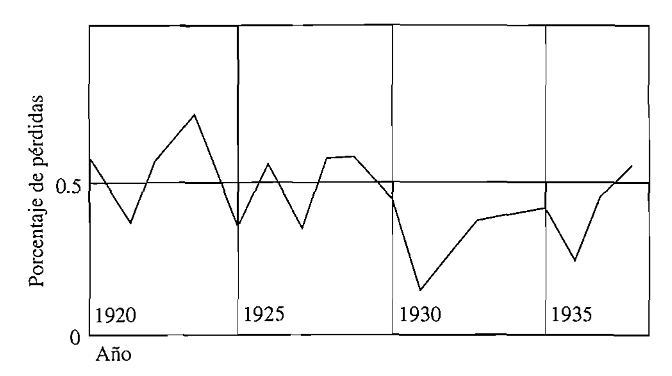


FIGURA 6.12. Naves británicas naufragadas entre 1920 y 1938: serie casual. Según G. U. Yule y M. G. Kendall, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 1950, p. 614.

Es verdad que solemos hallar *alguna* pauta incluso en una serie temporal, pero la pauta se refiere a la serie *en su conjunto*. En realidad, no podemos ni siquiera decir que una serie es casual si no muestra ciertas *regularidades colectivas.* * Una de esas regularidades es la media del número p de altos y bajos de la curva, media que, para una serie casual de n términos, es

$$\bar{p} = \frac{2}{3}(n-2).$$

Otra regularidad colectiva es que la variancia media del número de esos máximos y mínimos es $\overline{\sigma^2(p)} = (16n - 29)/90$. Si no se cumplen aproximadamente esas regularidades, podemos sospechar que la serie no es al azar, y podemos entonces buscar en ella una tendencia sistemática: por tanto, la aplicación de esas dos fórmulas constituye una *contrastación del carácter casual.* Eso muestra que dicha regularidad del todo es compatible con el carácter casual de los acontecimientos individuales, o aún más: que este último produce las regularidades del conjunto. Dicho de otro modo: el carácter casual es un tipo de legalidad, no de ausencia de leyes.*

Cada uno de los acontecimientos individuales que constituyen una serie casual puede estar sometido a leyes, pero como en una tal cadena no hay dos acontecimientos individuales que estén realmente vinculados el uno al otro, la serie sí que no constituye una ley. Una serie temporal no es más que un resumen de los efectos de procesos complejos e independientes en los cuales pueden actuar diversas leyes. Al construir una serie temporal *seleccionamos* una clase de acontecimientos y nos preguntamos por su distribución en el tiempo, en vez de estudiar cada proceso individual; por ejemplo, en vez de estudiar el proceso –sometido a leyes– de la gestación de cada caso individual, atendemos a los nacimientos, mutuamente independientes, en el seno de una comunidad. Una tal selección no es arbitraria desde el punto de vista de nuestros intereses, pero es arbitraria respecto de la marcha natural de los acontecimientos: tan arbitraria como la agrupación de estrellas en constelaciones. Por tanto, no tiene por qué sorprendernos el que *un conjunto de acontecimientos arbitrariamente seleccionados no satisfaga ley alguna*; lo que sí debería asombrarnos sería el hallar que los acontecimientos singulares mismos (por ejemplo, los nacimientos) no estuvieran sometidos a ninguna ley.

Pero no todas las series temporales son casuales: algunas expresan los efectos de la acción de determinados mecanismos, como el crecimiento de la población, o el desgaste de máquinas; en estos casos las secuencias mostrarán determinadas *tendencias*, y el teórico intentará explicar éstas descubriendo los mecanismos responsables de las mismas (cf. sección 6.2). Las series temporales no casuales son, pues, resúmenes de datos que, en principio, pueden sustituirse por leyes teoréticas de bajo nivel: son sistematizables, mientras que las series temporales casuales no lo son. Puede pensarse que acaso el fracaso de los historiadores en la búsqueda de leyes históricas se deba a que, por fijar su atención en grandes acontecimientos observables, no consiguen más que series temporales casuales. Y podemos preguntarnos si no descubrirían leyes históricas por el procedimiento de proponer hipotéticamente mecanismos ocultos, como hacen el físico y el biólogo. En última instancia, el que toda serie de acontecimientos por la que nos interesáramos fuera a resultar sometida a leyes sería tan milagroso como el que cada acontecimiento individual de esa serie careciera de toda ley.

Ejemplo de fórmula legaliforme: "Todos los perros nacen con rabo". La genética puede sostener esa ley de sentido común y hasta explicar las anomalías constituida por los perrillos sin rabo. La genética puede, efectivamente, fundamentar la generalización explicándola, y, al hacerlo corrige ligeramente la generalización empírica. Si un cachorro nace sin rabo, explicaremos la excepción por medio de una mutación poco probable, especialmente desde que podemos conseguir tales mutaciones en el laboratorio. Por tanto, abandonaremos la generalidad universal en beneficio de la verdad, y reformularemos del modo

siguiente la inicial ley de conocimiento común: "Casi todos los perros nacen con rabo". En general, tanto la generalización empírica cuanto sus posibles excepciones (posibles según la teoría, aunque aún no se hayan observado nunca) caen bajo la ley teorética. Y esta ley mostrará que, salvo que ocurra un accidente (una mutación), es necesario para cada cachorro el tener rabo.

Con la teorización, la generalización de sentido común "Todos los perros nacen con rabo", sufre un ligero cambio en cuanto a su alcance (en vez de 'todos' se tiene 'casi todos') y, principalmente, cambia de estatuto lógico. Ya no es una mera conjunción de proposiciones singulares, como "Fido nació con rabo", "Leal nació con rabo", etc., que abarca a todos los perros observados. El hecho de que Fido naciera con rabo *no es independiente* del hecho de que Leal pueda mover el suyo: la posesión común de esa propiedad se atribuye ahora a un genotipo análogo (de perro), el cual queda explicado a su vez por una comunidad de antepasados. A diferencia de las generalizaciones empíricas, que expresan *conjunciones constantes*, los enunciados legaliformes expresan *relaciones necesarias*.

La figura 6.13 esquematiza la transformación de las generalizaciones empíricas en leyes teoréticas de nivel bajo que contienen ya conceptos teoréticos. Para mayor simplicidad hemos supuesto una teoría que no tiene más que una ley de nivel alto. Las hipótesis de la teoría son: la ley de nivel alto, la ley de nivel bajo que representa la generalización empírica, y todos los enunciados singulares que pueden derivarse de la ley de nivel bajo y

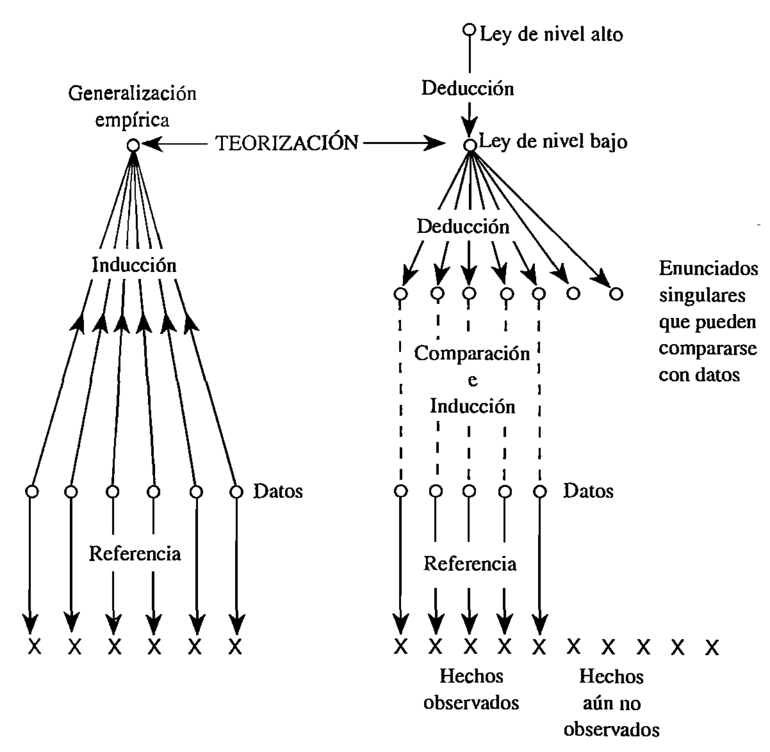


FIGURA 6.13. (*i*) La generalización empírica como resumen de datos de observación. (*ii*) La transformación de la generalización empírica en una ley de nivel bajo (un teorema de una teoría).

compararse con la evidencia. Obsérvese, en primer lugar, que la teoría da enunciados singulares, como son las previsiones, que se refieren a hechos posibles no observados todavía; es claro que esos enunciados rebasan la evidencia disponible. En segundo lugar, que en el caso de la generalización empírica intervienen dos relaciones: *referencia* (que relaciona los hechos observables y la experiencia) e *inducción* (que relaciona la evidencia con la generalización). En cambio, en el caso del sistema tenemos tres relaciones: *referencia* (hechos-evidencia), *inferencia no-deductiva* (comparación e inducción, que relacionan la evidencia y la previsión) y *deducción* (de enunciados singulares a partir de la ley de nivel alto).

Una vez teorizado un campo de conocimiento, la única distinción importante entre enunciados legaliformes se refiere a la posición que ocupan en la jerarquía lógica de la teoría, y este lugar queda determinado por la relación de deducibilidad. Tomemos, por ejemplo, la ley de los gases ideales, "$pV = nRT$", que relaciona tres variables (p, V y T), un parámetro (n) y una constante universal (R). Esa ley es deducible de dos conjuntos de proposiciones de nivel alto: las leyes de la mecánica analítica y ciertas hipótesis estadísticas relativas al carácter casual (independencia) de las trayectorias de las moléculas. A su vez, la ley es el vértice de un pequeño árbol deductivo de tres ramas, cada una de las cuales suministra una ley especial. Estas leyes especiales, se introdujeron inicialmente como generalizaciones empíricas que cubrían el comportamiento observado de los gases reales (cf. fig. 6.14). Otro ejemplo: con la aparición de las teorías atómicas se hizo posi-

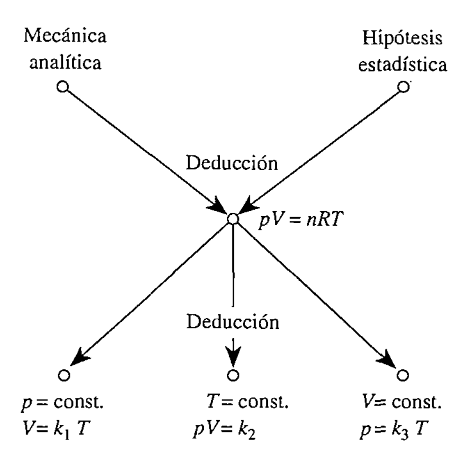


FIGURA 6.14. La ley general de los gases ideales subsume tres leyes especiales, cada una caracterizada por un parámetro.

ble explicar el comportamiento de los varios materiales, o sea, derivar las leyes especiales que caracterizan el comportamiento de las varias sustancias: de este modo los parámetros, antes sin explicar, que se presentan en las generalizaciones empíricas quedan explicados. Dicho brevemente: la teorización reduce la amplia gama de enunciados legaliformes a dos únicas clases de interés lógico: leyes del nivel más alto (axiomas o

postulados) y leyes de nivel bajo (teoremas). Una ulterior distinción entre éstas –por ejemplo, entre leyes de nivel intermedio y leyes de nivel bajo– depende en cuanto a su interés de la complejidad de la teoría que se considere.

Admitiendo, pues, que las generalizaciones empíricas no son, a largo plazo, los desiderata de la investigación, sino más bien material en bruto que plantea el problema de la construcción de teorías, ¿cómo podemos conseguir las leyes teoréticas? Hemos visto antes (6.2) que la búsqueda de hipótesis de nivel alto no es una actividad orientada por reglas. Pero teniendo en cuenta la vigencia de ciertas opiniones puede ser útil mencionar dos procedimientos que *no* garantizan la obtención de leyes teoréticas. Un procedimiento obviamente inadecuado es la *inducción*: dado un conjunto de generalizaciones empíricas de una determinada clase, podemos a veces construir una generalización de nivel superior, o un conjunto de tales generalizaciones, que subsuma todas las anteriores; pero esto no suministrará ninguna ley teorética, por la sencilla razón de que las leyes teoréticas contienen conceptos no-observables introducidos por la teoría y que son en cambio innecesarios para el establecimiento de las generalizaciones empíricas. Mientras que las inducciones empíricas resumen y generalizan lo percibido, las leyes teoréticas se refieren a lo que no es percibido. Además, dejando aparte ese hecho de que los conceptos no-observacionales no pueden obtenerse de la experiencia, resulta que tampoco es posible inferir hipótesis directamente y sólo de los datos empíricos: a partir de un dato (o un conjunto de datos), e, podemos inferir válidamente un número ilimitado de condicionales, $h \to e$, pero no las hipótesis h mismas, y aún menos la mejor de ellas. Si el lector tiene aún alguna duda acerca de la impotencia de la inducción para conseguir leyes de nivel alto, debe intentar aplicar la inducción a algún ejemplo concreto: por ejemplo, intentar inferir las leyes de nivel alto de la figura 6.14 partiendo de las correspondientes leyes de bajo nivel.

Otro procedimiento inútil para obtener leyes de nivel alto es la matematización de la generalización empírica, por ejemplo, mediante técnicas de interpolación (cf. 6.2). Éste es un buen procedimiento para *condensar* y *generalizar* información empírica, pero ni produce las construcciones de alto nivel necesarias para tener una teoría ni consigue la necesidad que se supone expresan los enunciados legaliformes. En realidad, una serie temporal, como la variación casual del volumen total de ruidos en el Piccadilly Circus, puede trazarse como una función del tiempo, aunque no hay gran conexión –o no hay ninguna– entre los ruidos de la secuencia. Una tal función matemática no puede recogerse en una teoría, no puede por tanto servir para efectuar previsiones. No hace falta decir que las calculadoras se encuentran con las mismas limitaciones. Su única ventaja consiste en que pueden manejar masas ingentes de datos; pero no se hallan leyes por el procedimiento de elaborar meramente los datos; las cosas suceden más bien al revés: sólo a la luz de leyes pueden buscarse datos relevantes. Diremos, en conclusión, que ni la matematización ni la inducción llevan por sí mismas al establecimiento de leyes teoréticas.

Podemos ahora formular explícitamente los requisitos que hemos impuesto tácitamente a una hipótesis para considerarla una ley científica. El primero es la *generalidad auténtica* en algún respecto (o sea, respecto de alguna variable) y con algún alcance (o sea, entre 'la mayoría de' y 'todos'). (El calificativo 'auténtica' debe excluir enunciados pseudo-universales como "$(x)[x = c \to P(x)]$".) El segundo requisito es la *corroboración empírica* en un grado que se considere satisfactorio en el momento en que se declara ley aquella

hipótesis. Esta condición presupone una referencia factual, pero no una significación empírica. No hará falta decir que lo que en una época se considera confirmación empírica suficiente puede resultar luego deficiente, con lo que se anulará la declaración de que la hipótesis es una ley: el nombramiento de ley no es vitalicio. El tercero y último requisito es la *sistematicidad*, la pertenencia a algún sistema científico, ya plenamente desarrollado o aún en gestación. La generalidad auténtica, que caracteriza la amplia clase de los enunciados de tipo legaliforme, y la confirmación empírica, necesaria para atribuir algún grado de verdad, son insuficientes para ascender de categoría las leyes de sentido común y las generalizaciones empíricas: el requisito de sistematicidad impide esos ascensos injustificados. Generalizaciones empíricas muy sólidas, como "Todos los cuerpos son negros" y "El periodo de gestación del hombre es aproximadamente de nueve meses (cuando no inferior)" no se reconocerán como enunciados legaliformes mientras no tengan el apoyo de alguna teoría ya sometida a contrastación.

Todo lo que precede puede condensarse en la siguiente *Definición*: Una hipótesis científica (una fórmula fundada y contrastable) es una fórmula de ley si y sólo si (*i*) es *general* en algún respecto y con algún alcance; (*ii*) ha sido empíricamente *confirmada* de modo satisfactorio en algún dominio, y (*iii*) pertenece a algún *sistema* científico.

Así llegamos a las puertas de la teoría científica; pero antes de llamar a ella estudiaremos las metaleyes y el carácter de ley.

Problemas

6.6.1. Se supone generalmente que los enunciados legaliformes son verdaderos o, por lo menos, susceptibles de demostración como tales. Cf. H. Reichenbach, *Elements of Symbolic Logic*, Nueva York, Macmillan, 1947, p. 368. ¿Debe exigirse la verdad, sin más calificación, a los enunciados sintéticos (no formales)? Por lo que hace al carácter aproximado y, por tanto, provisional de las leyes físicas, cf. P. Duhem, *The Aim and the Structure of Physical Theory*, 1914, Nueva York, Atheneum, 1962, pp. 165ss.

6.6.2. Ilustrar el proceso por el cual una generalización empírica se convirtió en una ley teorética de nivel bajo. Utilizar una buena historia de la ciencia.

6.6.3. Citar un par de generalizaciones empíricas referentes a la personalidad o a la sociedad, e intentar insertarlas en una teoría que se conozca.

6.6.4. Informar acerca del predominio de las generalizaciones empíricas sobre las leyes en la ciencia social contemporánea. Cf. R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, 2a. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, pp. 95-100.

6.6.5. Ejemplificar las siguientes clases de enunciados legaliformes: (*i*) Relaciones entre variables directamente observables. (*ii*) Relaciones entre variables directamente observables y variables directamente inobservables. (*iii*) Relaciones entre variables que no son directamente observables. Cf. H. Feigl, "Existential Hypotheses", *Philosophy of Science*, *17*, 35, 1950.

6.6.6. ¿Tenemos que considerar como un desideratum la subsumción de toda generalización empírica bajo teorías científicas, o bien es posible que las teorías muestren que algunas de nuestras generalizaciones empíricas (e incluso algunas de nuestras proposiciones singulares, afirmadas sobre la base de la experiencia) son de hecho falsas?

6.6.7. "La carga eléctrica de un sistema aislado es constante en el tiempo" y "La cantidad de electricidad de un sistema no depende del marco de referencia" son leyes de las más sólidas. No

sólo están empíricamente verificadas, sino que, además, se derivan de leyes teoréticas de nivel superior. Es posible que haya que corregirlas en el futuro, pero por ahora no se ve ninguna indicación en ese sentido. Antes al contrario: esos enunciados legaliformes son instrumentos de descubrimientos importantes (por ejemplo, del descubrimiento de nuevas partículas "fundamentales"). Sin embargo, para construir una determinada teoría cosmológica (la del estado constante) se ha supuesto que la carga eléctrica nace de la nada. ¿Qué estatuto debe atribuirse a esa conjetura?

6.6.8. Los enunciados universales sintéticos (o sea, no analíticos) pueden asegurar inferencias contractuales o pueden carecer de esa capacidad (cf. sección 5.3.). En el primer caso podemos inferir de "Todos los *P* son *Q*" la conclusión "Si *c*, que no es un *P*, fuera un *P*, entonces *c* sería un *Q*". En el segundo caso es imposible una inferencia de esa naturaleza. Se ha sostenido que esa potencia contrafactual distingue los enunciados legaliformes de los que no lo son. Cf. M. Bunge, *Method, Model and Matter*, Dordrecht, Reidel, 1973, capítulo 1. Examinar si una ley estadística de la clase discutida en la sección 6.4. (la que se refiere a automóviles fuera de uso) satisface ese requisito. Intentar averiguar si dicha potencia contrafactual no podría más bien utilizarse para caracterizar generalizaciones cuya verdad no sea aleatoria, y precisamente en el caso de que sepamos que no pueden ser verdaderas por puro azar.

6.6.9. Precisar las diferencias entre una generalización estadística derivada de datos empíricos (por ejemplo, un enunciado acerca de la correlación inversa entre la hipnotizabilidad y la inteligencia) y una ley estocástica (por ejemplo, la ley de Maxwell acerca de la distribución de la velocidad). Y averiguar por qué las leyes estadísticas teoréticas no suelen mencionarse en las discusiones filosóficas sobre los enunciados estadísticos.

6.6.10. Siempre que formulamos una relación entre dos o más variables referentes a propiedades de una clase de sistemas estamos presuponiendo que la tal relación vale *coeteris paribus*. Preguntas: 1. ¿Qué significa eso desde el punto de vista de las variables? 2. ¿Es verdad –como suele afirmarse– que la condición *coeteris paribus* (igualdad del resto de las circunstancias) es una limitación característica de las ciencias sociales y que no conocen las ciencias físicas? Recuérdese el concepto de derivada parcial. *Problema en lugar de ése*: Los requisitos que ahora imponemos a los enunciados legaliformes son de formulación reciente. Recordaremos que todavía en 1676 R. Hooke formulaba su ley según la cual "La tensión es proporcional a la fuerza" en la forma *ceiiinosssttuu*, anagrama de *Ut tensio, sic vis*. ¿Es verosímil que nuestros requisitos sean inmutables y para siempre?

6.7. *LEYES DE LEYES

Consideremos una de las varias formulaciones posibles del principio de co-variación: "Las leyes físicas básicas son [o deben ser] invariantes respecto de las transformaciones (generales y continuas) de las coordenadas". Puede interpretarse este principio diciendo que, como la elección de una representación (por ejemplo, de un sistema de coordenadas) es subjetiva, no debe influir en la formulación de enunciados legaliformes del nivel más alto, por mucho que determine la forma de las soluciones a las anteriores ecuaciones. Observemos, por de pronto, que ese principio es general; se refiere a toda fórmula legaliforme básica concebible; por tanto, él mismo es legaliforme. En segundo lugar, el principio queda efectivamente satisfecho por cierto número de importantes fórmulas de alto nivel; y siempre que se descubre una fórmula básica que no cumple ese principio, se realizan serios esfuerzos para modificarla de modo que lo satisfaga: esto muestra que el principio cum-

ple una función normativa. En tercer lugar, el principio no es en absoluto una proposición suelta: está inserto en todas las teorías relativistas, en las que desempeña un papel de superpostulado. De acuerdo con la definición de fórmula legaliforme que dimos en la sección anterior, el principio de covariación puede, pues, considerarse como una ley científica en sentido pleno. Sin embargo, no se refiere a ningún acontecimiento ni proceso de la realidad: se refiere a fórmulas legaliformes, y enuncia una característica –actual o deseable– de las mismas. Por tanto, no se encuentra al mismo nivel que las fórmulas a las que se refiere: lógicamente y, por tanto, lingüísticamente, el principio pertenece a un nivel más alto que el de sus correlatos. Dicho brevemente, es una *fórmula metanomológica* (cf. sec. 6.5).

Muy frecuentemente queda vago en la literatura científica si una determinada fórmula legaliforme es una proposición de objeto o una metaproposición, esto es, si se refiere a hechos o a otra proposición. Otras veces la misma idea puede expresarse como enunciado de objeto y como metaenunciado. Por ejemplo, el principio de relatividad de la mecánica clásica puede formularse en la forma "Todos los sistemas de inercia son equivalentes" (que es una proposición de objeto) o en la forma "Las leyes newtonianas del movimiento valen en todos los sistemas de inercia" (que es una metaproposición). Además, muchas veces es posible prescindir de una fórmula legaliforme en la base de postulados de una teoría, con la condición de volver a introducirla como superpostulado, es decir, como fórmula metanomológica perteneciente a la metateoría correspondiente. Así, por ejemplo, el principio newtoniano de acción y reacción puede considerarse como un postulado propiamente dicho, pero también se puede prescindir de él si se adopta, tácitamente al menos, la siguiente fórmula metanomológica: "Toda ley referente a la fuerza debe ser tal que la fuerza ejercida por una partícula sobre otra sea igual, con el signo cambiado, a la fuerza que la segunda ejerce sobre la primera." El ahorro de un postulado por este procedimiento es, desde luego, ilusorio; pero es un hecho histórico que ese modo de proceder fue el adoptado en una cierta formulación de la mecánica newtoniana (la formulación de Hamel).

Las teorías científicas progresadas abundan en enunciados metanomológicos, o sea, en fórmulas que, aunque satisfacen todos los requisitos del carácter de ley, no reproducen a nivel conceptual esquemas reales, sino que *describen* o *prescriben rasgos básicos de las fórmulas legaliformes*. Desgraciadamente, nunca se manifiesta con claridad su especial estatuto lógico, con lo que se producen serias confusiones. Un caso reciente ha sido la contracción del campo de validez de la ley de conservación de la paridad, o invariancia especular. El no indicar claramente *qué* es lo que no permanece invariante en una reflexión (un cambio de las coordenadas x_i por $-x_i$) da lugar a una oscuridad acerca de *dónde* van a encontrarse asimetrías, si en los hechos, en las leyes o en unos y otras. Parece que la 'no-conservación de la paridad' se refiere a ciertas fórmulas legaliformes y que la asimetría tiene consecuencias contrastables que pueden compararse con ciertos hechos; dicho de otro modo: 'no-conservación de la paridad' es en este caso una frase ambigua, porque se refiere tanto a ciertas leyes cuanto a ciertos conjuntos de hechos. Es muy de notar que nunca se declara explícitamente esa ambigüedad.

Pueden distinguirse dos géneros de enunciados metanomológicos: descriptivos y prescriptivos. (*i*) Las fórmulas metanomológicas *descriptivas* son enunciados acerca de propiedades efectivas, alcance (dominio de validez) o utilidad de enunciados legaliformes

de objeto. Ejemplo: "Las leyes históricas son estadísticas". (*ii*) Las fórmulas metanomológicas *prescriptivas* son enunciados acerca de *deseables* propiedades lógicas, epistemológicas o metodológicas de las fórmulas legaliformes. Ejemplo: "Las probabilidades de transición entre diferentes estados de un sistema deben ser las mismas en todos los marcos de referencia (o deben ser independientes de las condiciones de observación y de la representación)". Las fórmulas metanomológicas prescriptivas no dicen cuáles son de hecho las características de las fórmulas legaliformes, sino más bien cuáles deberían ser: son programáticas, no se formulan después de haber hallado las fórmulas mismas y en base a su examen, sino antes de empezar su búsqueda: orientan la investigación limitando el conjunto de los enunciados candidatos al carácter de ley y reduciéndolo al conjunto de las fórmulas que satisfacen ciertos requisitos. Es claro que si, por alguna razón, se ha concluido que una cierta característica de un determinado conjunto de fórmulas legaliformes es deseable para todas las fórmulas de un determinado campo científico, entonces el enunciado descriptivo se formulará nuevamente como prescriptivo. Dicho de otro modo: las fórmulas metanomológicas prescriptivas, aunque son programáticas, no son *a priori*.

Son fórmulas metanomológicas importantes las que formulan la invariancia de un conjunto de leyes respecto de ciertas transformaciones sufridas por las variables independientes. Tomemos la forma

$$L = SA = 0, \qquad [6.9]$$

que simboliza de un modo condensado una gran cantidad de fórmulas legaliformes cuantitativas (cf. sec. 6.5). Tanto el operador A cuanto el operando S (la solución) dependerán, en general, de cierto número de variables. Condensaremos todas las variables independientes que aparezcan en [6.9] en el símbolo 'v':

$$L = A(v)S(v) = 0 \qquad [6.10]$$

El símbolo '$A(v)$' no tiene significación independiente si [6.10] es efectivamente un enunciado legaliforme de nivel alto. Los hechos y, particularmente, los hechos de experiencia (fenómenos), pueden describirse con la ayuda de las soluciones $S(v)$. Ahora bien: la solución de un mismo hecho puede hacerse de infinitos modos, según el "punto de vista" que se adopte; cada modo de observación y descripción se caracterizará por un particular marco de referencia y un particular conjunto de escalas para registrar los valores de las variables v. Estas infinitas descripciones posibles se relacionan entre sí a través de una cierta transformación; dicho de otro modo: habrá una transformación que lleve de un conjunto de descripciones a otro (cf. figura 6.10). Llamando $T(v)$ al operador que realice el paso entre las varias descripciones y $S^*(v)$ la descripción transformada, podemos escribir:

$$S^*(v) = T(v)S(v) \qquad [6.11]$$

(Se trata de un enunciado generalizado: especificando el valor de v obtenemos transformaciones y descripciones particulares.) El grupo de transformaciones $T(v)$ es infinito, pero

no arbitrario: deseamos multiplicar el número de descripciones posibles de los hechos, pero también *mantener las fórmulas legaliformes invariantes respecto de cambios en el modo de descripción.* De no ser así, no podríamos pretender que nuestras fórmulas legaliformes fueran descripciones adecuadas de leyes objetivas; estarían vinculadas al observador, o sea, a los fenómenos, y no a los hechos objetivos.

Dicho de otro modo: o bien *hallamos* que nuestras fórmulas legaliformes básicas (de alto nivel) cumplen la condición de invariancia bajo ciertos grupos de transformaciones (Galileo, Lorentz, Hamilton, etc.), o bien les *imponemos* la condición de invariancia. En el primer caso tenemos una fórmula metanomológica descriptiva referente a nuestro enunciado legaliforme; en el segundo caso, esa fórmula es prescriptiva. Y en ambos casos habremos restringido el grupo de transformaciones a las que dejan invariantes la fórmula legaliforme dada, con lo que podremos escribir

$$TL \equiv L^* = L = 0 \qquad [6.12]$$

(Podemos dar un paso más imponiendo a T la condición de que tenga una inversa T^{-1} definida implícitamente por $T^{-1}T = I$ (identidad). Entonces $TL \equiv TAS = TAT^{-1}TS = A^*S^* = 0$, en la cual $A^* = TAT^{-1}$ es el operador transformado.)

Estas *transformaciones con ley invariante* se presentan en la mecánica (Galileo, Lorentz y transformaciones canónicas), la teoría electromagnética (transformaciones de Lorentz y de escala) y en la teoría de los quanta (transformaciones unitarias). Son esenciales para la teoría física, pero no hace falta atribuirles más significación que la siguiente, que es primariamente gnoseológica: un conjunto dado de enunciados legaliformes de nivel alto explicará no sólo una clase de fenómenos, sino una clase infinita de clases de fenómenos. Dicho de otro modo: un mismo conjunto de fenómenos, referido de modo mediato por una fórmula legaliforme dada, puede describirse de modos infinitos, uno para cada "punto de vista" posible; y todas esas descripciones diferentes serán equivalentes entre ellas mientras estén relacionadas por transformaciones que preserven las leyes. En resolución, lo esencial para la teorización científica no es el fenómeno con su descripción, sino el hecho subyacente con su explicación.

¿Sobre qué base aceptamos o rechazamos fórmulas metanomológicas? Es claro que las fórmulas metanomológicas descriptivas se aceptarán si son verdaderas y se rechazarán si son falsas. Y a las fórmulas metanomológicas prescriptivas se les exigirá fecundidad y cierta consistencia filosófica de percepción nada precisa: los programas no pueden ser ni verdaderos ni falsos. Ahora bien: las fórmulas metanomológicas descriptivas pueden ser de dos clases: *analíticas* y *sintéticas*. El enunciado que afirma que cierto otro enunciado tiene una determinada propiedad formal (por ejemplo, que no cambia al cambiarse t por $-t$) no puede ponerse a prueba más que a base de papel y lápiz; por tanto, todos los enunciados de invariancia o propiedades simétricas de las fórmulas legaliformes son enunciados analíticos. Las fórmulas metanomológicas analíticas se convalidarán exactamente igual que los teoremas matemáticos. Y si se descubre que las fórmulas legaliformes subyacentes, a las que se refiere, son incoherentes con datos empíricos, entonces la correspondiente fórmula metanomológica analítica resultará *irrelevante* (en el caso de que se limite a afirmar algo precisamente sobre la fórmula que se ha visto

falsada), o podrá aún conservarse, en el caso de que su alcance sea toda una clase de fórmulas legaliformes. En ningún caso, empero, la experiencia será juez competente sobre ella, y aún menos capaz de refutarla: la única "experiencia" relevante en este caso es la "experiencia" sobre fórmulas legaliformes.

Las fórmulas metanomológicas de la especie sintética son, por definición, sensibles a la experiencia; y precisamente de dos modos: en primer lugar, si no se satisfacen ciertos principios metanomológicos se obtendrán fórmulas legaliformes de consecuencias llanamente falsas; a la inversa, se rechazará una fórmula metanomológica propuesta si prohíbe alguna fórmula legaliforme verdadera. Otra contrastación posible consiste en ver si una fórmula metanomológica consigue reducir el número de hipótesis concebibles, estrechando así el conjunto de candidatos al título de fórmula legaliforme. Por ejemplo, si el axioma newtoniano de acción y reacción se enuncia como fórmula metanomológica, nos llevará a admitir como posible, entre otras, toda ley de fuerza de la forma "$F(x, y) = f(x-y)$", en la cual 'x' e 'y' designan las posiciones de dos puntos de masa, y 'f' representa una función impar de la distancia entre ellos; intercambiando x con y obtenemos, en efecto $F(y, x) = f(y-x) = f[-(x-y)] = -f(x-y)$, de acuerdo con el principio. Pero en cambio el principio prohibirá leyes de la fuerza tales como $F(x, y) = f(x-y)$, si f es una función par de la distancia recíproca; y también eliminará candidatos del tipo $F(x, y) = kxy$ y $F(x, y) = kx/y$, con k constante. Y rechazaríamos el principio, o estrecharíamos, al menos, su dominio de validez, caso de encontrar fórmulas legaliformes suficientemente verdaderas que no lo satisficieran. Tal es lo que ocurrió en electrodinámica, teoría en la cual se presentan fórmulas legaliformes que nos obligan a restringir el principio de acción y reacción a fuerzas de acción instantánea.

Las fórmulas metanomológicas prescriptivas no pueden ser verdaderas ni falsas, sino fecundas, estériles, perjudiciales o divertidas. Ejemplo de fórmula metanomológica divertida (y realmente propuesta por filósofos de los que se creen legisladores, en vez de ser estudiosos de las leyes): "En una fórmula legaliforme no puede presentarse ningún predicado que no pueda aparecer en una evidencia empírica (proposición observacional)". Ejemplo de fórmula perjudicial: "No se aceptará ninguna fórmula legaliforme que sea incompatible con el X-ismo (sustituir por el nombre de cualquier filosofía dogmática)". Ejemplo de fórmula estéril: "Todas las fórmulas legaliformes deben escribirse en caracteres griegos o góticos". Ejemplo de fórmula fecunda: "Todas las fórmulas legaliformes que contienen variables intermedias que no denoten propiedades deben ser en última instancia derivadas de fórmulas legaliformes que no contengan más que (o contengan predominantemente) variables que denoten propiedades (o sea, construcciones hipotéticas)". Las fórmulas metanomológicas, sean fecundas o estériles, pertenecen claramente a la estrategia de la construcción de teorías y tienen que ver con la filosofía de la ciencia.

Algunas fórmulas metanomológicas del género prescriptivo establecen las formas posibles de las fórmulas legaliformes. Éste es el caso de las fórmulas rivales: "Las ecuaciones fundamentales de la física tienen que ser ecuaciones integrales" y "Las ecuaciones fundamentales de la física tienen que ser ecuaciones diferenciales". Otras fórmulas se refieren a la naturaleza de las variables relacionadas por las fórmulas legaliformes; por ejemplo: "En una fórmula pueden aparecer variables de todo tipo, siempre que se asignen reglas de interpretación de las mismas, de tal modo que la fórmula tenga consecuen-

cias susceptibles de contrastación". La validez de las propuestas de ese tipo estriba esencialmente en su fecundidad. Por eso su estimación es asunto muy delicado. Fórmulas metanomológicas malas pueden desorientar y hasta paralizar campos enteros de la investigación. Una prueba de esto es el caso del requisito según el cual todas las fórmulas legaliformes tendrían que ser meras generalizaciones de informes de observación: este prejuicio está aún paralizando el desarrollo teorético en biología y en las ciencias del hombre. Esos peligros no pueden evitarse más que considerando las fórmulas metanomológicas como *guías provisionales* que habrá que corregir en cuanto que desvíen o restrinjan el alcance de la investigación. Sea de ello lo que fuere, las fórmulas metanomológicas obran realmente como constricciones puestas a las fórmulas legaliformes posibles: no bastan para obtener enunciados legaliformes, pero funcionan como indicaciones heurísticas, generalmente de tipo negativo.

Digamos, para terminar, que la división de las fórmulas metanomológicas en descriptivas y prescriptivas puede también alterarse. Así, por ejemplo, en vez de decir 'Las fórmulas legaliformes *deben* tener la propiedad *P*', podemos decir: 'Las fórmulas legaliformes *propias* [o correctas, o bien concebidas] *tienen* la propiedad *P*'. La palabra 'propias' es aquí a la vez descriptiva y suasoria, como 'buenos' en 'Los niños buenos se van pronto a la cama'. Lo importante desde un punto de vista pragmático es la función realmente efectuada por un enunciado, más que su forma lingüística. Así, en el caso de las fórmulas metanomológicas, algunas han tenido tanto éxito que se las considera como paradigmas dignos de imitación; su mera enunciación tiene fuerza prescriptiva, cualquiera que sea el tenor lógico de la misma, al modo que obra un anuncio de la forma "*x* fuma *y*". De todos modos, la equivalencia pragmática entre algunas normas y algunos enunciados de mucho prestigio e influencia no debe hacernos olvidar que las normas no se someten a contrastación del mismo modo que las proposiciones: las contrastaciones que tienden a establecer la fecundidad (o la adecuación a ciertos fines) son diferentes de las que buscan el establecimiento de la verdad.

Concluimos. Las fórmulas legaliformes no pueden desarrollarse al azar, sino que están sometidas a leyes de nivel superior. Estas leyes –las fórmulas metanomológicas– están parcialmente incluidas en la teoría científica, y en parte en la metaciencia. Y ahora abandonaremos esta tierra casi virgen para tratar el problema de la presencia objetiva de la ley en la realidad.

Problemas

6.7.1. Examinar las proposiciones siguientes para decidir si son enunciados legaliformes, enunciados de metaleyes o enunciados metanomológicos. (*i*) "Las leyes de la economía no pueden deducirse de leyes psicológicas sólo". (*ii*) "Las leyes de la naturaleza son tales que es imposible construir una máquina de movimiento continuo".

6.7.2. En todo enunciado legaliforme que presente la divergencia de un vector, puede añadirse al vector dado la ondulación de un vector cualquiera, porque la divergencia de ésta desaparece. ¿Qué tipo de enunciado es ése? ¿Y por qué no se aprovecha esa posibilidad mientras no haya evidencia de que el vector adicional representa una propiedad física: por amor de la simplicidad o por amor de la contrastabilidad?

6.7.3. Caracterizar el enunciado siguiente, comúnmente considerado una ley de la naturaleza: 'En la naturaleza no se realizan más que estados simétricos o antisimétricos', que significa: "Las funciones de onda que se presentan en las ecuaciones de onda que dan razón de las partículas y los campos conocidos son simétricas o antisimétricas".

6.7.4. Examinar el estatuto metodológico de la fórmula metanomológica enunciada en la sección 5.5. "Toda fórmula legaliforme tiene un dominio de validez limitado (o más bien una extensión limitada)." ¿Es esa fórmula confirmable y refutable o sólo confirmable?

6.7.5. Caracterizar los enunciados siguientes: (*i*) H. Jeffreys, *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge University Press, 1957, p. 36: "El conjunto de todas las formas posibles de ley científica es finito y numerable, y las probabilidades iniciales de esas formas constituyen los términos de una serie convergente de suma 1. Llamaremos a este principio *postulado de simplicidad*". (*ii*) H. J. Bhabha, "On the Postulational Basis of the Theory of Elementary Particles", *Reviews of Modern Physics*, *21*, 451, 1949, p. 453: "... las ecuaciones de movimiento no deben contener más que constantes universales, además de la función de onda ψ, su conjugada compleja y sus derivadas".

6.7.6. Examinar el enunciado "Las leyes son independientes de la localización en el espaciotiempo". ¿Qué evidencia tenemos para sostenerlo? ¿Sabemos con certeza que es válido o lo suponemos? Decidir si es fecundo y si podría refutarse, y cómo, de ser así.

6.7.7. Examinar el expediente que consiste en "eliminar" un postulado por el procedimiento de reformularlo como enunciado metanomológico e introducirlo en el cuerpo de los presupuestos de la teoría. Cf. G. Hamel, *Theoretische Mechanik*, Berlín, Springer, 1949.

6.7.8. Formular de otro modo las discusiones corrientes sobre variables intervinientes y construcciones hipotéticas en psicología, a saber, como un conflicto entre conjuntos de enunciados metanomológicos de naturaleza prescriptiva. *Problema en lugar de ése*: Dilucidar el concepto de prescripciones o normas en conflicto.

6.7.9. Considerar el siguiente enunciado de W. Heisenberg, cofundador de la teoría de los quanta, en *Daedalus*, *87*, 95, 1958: "Las leyes de la naturaleza que formulamos matemáticamente en la teoría de los quanta no tratan ya de las partículas mismas, sino de nuestro conocimiento de las partículas elementales." Según eso, ¿tendremos que decir que las leyes enunciadas por la teoría de los quanta no son leyes físicas, sino leyes epistemológicas? ¿O podremos decir, en vez de eso, que son enunciados metanomológicos? ¿O diremos, por último, que algunas son enunciados legaliformes de objeto y otras enunciados metanomológicos? En cualquier caso: ¿cómo podrán someterse a contrastación? Indicación: no desanimarse. *Problema en lugar de ése*: Las leyes que caracterizan los materiales ideales, como los cuerpos rígidos, tienen que valer en todos los sistemas de coordenadas, puesto que su comportamiento no depende del modo de descripción. Estudiar en qué medida y de qué modo se consigue eso. Cf. C. Truesdell y R. Toupin, "The Classical Field Theories", cap. G, en S. Flügge (ed.), *Encyclopedia of Physics*, Berlín, Springer, 1960, vol. III/1.

6.7.10. Discutir la naturaleza del teorema siguiente: "Las ecuaciones de cambio que son relativísticamente invariantes son invariantes respecto de las inversiones combinadas de la carga, el tiempo y la paridad" (Teorema de Lüders-Pauli). Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, cap. 12.

6.8. LA REGLA DE LA LEY

¿Cómo reaccionaría un geólogo si se le dijera en serio que, según la fábula latina, la montaña ha engendrado un ratón? Seguramente se reiría de ello, porque ese supuesto hecho

no encaja en ninguna ley de la naturaleza, y hasta es incompatible con las leyes naturales conocidas: por ser un científico, se supone que se atiene al principio de que *Todo acontecimiento satisface un conjunto de leyes*. Dicho negativamente: se supone que el geólogo, en su condición de científico, no cree en milagros, esto es, en "violaciones" de las leyes objetivas. Sólo las "leyes" hechas por el hombre (las reglas de la vida social) pueden violarse; los enunciados legaliformes no pueden violarse, sino refutarse.

En la naturaleza –y parcialmente también en la cultura– no todo lo que es lógicamente posible es también físicamente posible y, por tanto, destinado a ocurrir a largo plazo. Las leyes objetivas son precisamente amplias y constantes restricciones puestas a las posibilidades meramente lógicas. Decir que todo puede ocurrir, o que no hay límites para los caprichos de la naturaleza, es afirmar la existencia de acontecimientos no sometidos a leyes, de acontecimientos sin ley. La ciencia no da ninguna base a esa posibilidad: hasta el comportamiento social sin ley se explica científicamente por leyes.

Por otro lado, todo científico sabe o sospecha que las fórmulas legaliformes, a diferencia de los esquemas objetivos, o estructuras objetivas, pueden ser irrelevantes para ciertos hechos o quedar falseados por nueva evidencia o nueva argumentación teorética. En ambos casos –irrelevancia y falsación– algunos hechos quedan fuera del conjunto de las leyes consideradas, pero no fuera de toda ley. Así, por ejemplo, el número de planetas de un sistema solar y sus distancias respecto de su sol son accidentales respecto de sus leyes de movimiento. Pero caerán bajo las leyes de una teoría adecuada del origen de los sistemas solares, o sea, dejarán de ser accidentales en este otro contexto. Análogamente, lo que se discute a propósito de la "violación" de una ley no puede ser más que un fallo o insuficiencia de una hipótesis, una conjetura rectificable que va más allá de la experiencia disponible. Dicho de otro modo: los científicos están dispuestos a tropezar con excepciones a fórmulas legaliformes, pero no a leyes objetivas.

¿Cuál es, entonces, la actitud normal de un científico que se encuentra con un acontecimiento infrecuente? Su primer intento consistirá en insertar ese acontecimiento en una fórmula legaliforme conocida, aunque acaso aislada y de poco uso. Si ese intento fracasa, intentará arbitrar un esquema más amplio que pueda recoger la excepción, la cual dejará entonces de serlo. Si también fracasa en esto, el científico no perderá por ello su confianza en el carácter legal de la realidad, sino más bien la que ha puesto en sus propias conjeturas. Un par de ejemplos aclarará esto.

Supongamos que un botánico descubriera un ejemplar enano de sequoia. Si estuviera razonablemente seguro, gracias a algunas comprobaciones de la edad, de que el árbol es a la vez viejo y poco desarrollado, intentaría explicar ese hecho inesperado y, por lo tanto, llamativo: intentaría, esto es, "legalizarlo". Para ello intentaría descubrir las propiedades "responsables" de la pequeñez, como la falta de raíces centrales, o una anormal concentración de hormonas; también podría intentar una explicación sobre la base del medio o de mutaciones. En cualquier caso, ese botánico intentaría explicar la excepción a la generalización empírica "Todas las sequoias son gigantes" mediante el hallazgo de un esquema exacto y amplio que admitiera la posibilidad de sequoias enanas.

Otro ejemplo: se ha establecido una generalización empírica h_1 y luego se encuentran excepciones a la misma en un determinado dominio. Si el experimentador está razonablemente seguro de que las nuevas observaciones son más exactas que las primeras, sus-

tituirá h_1, por una nueva hipótesis h_2, que recoja las excepciones a h_1. Además, intentará *explicar* por qué los hechos cumplen h_2 en vez de h_1: o sea, intentará subsumir la nueva generalización empírica bajo una ley teorética que dé razón del mecanismo del proceso, o intentará explicar la desviación respecto de h_1 como debida a la interferencia con otra ley. El esquema es siempre así: la excepción a una fórmula legaliforme dada se entiende como ejemplo o consecuencia de una fórmula más amplia y exacta. Así, por ejemplo, después de que Boyle propusiera su ley de los gases ideales, se averiguó que, dentro de una cierta zona de volúmenes, los cambios de volumen no van acompañados por cambios de la presión interna. (Si las observaciones de Boyle hubieran sido muy exactas no habría descubierto su ley.) Por ello la hipótesis h_1 de Boyle se sustituyó por una hipótesis más exacta, h_2 (cf. fig. 6.15). Pero los físicos no quedaron satisfechos con la mera sustitución de una ley por otra: explicaron el fallo de h_1 en el intervalo V_1, V_2 con la ayuda de la teoría atómica. En V_2, el sistema deja de ser un gas puro: empiezan a formarse gotas de líquido, como consecuencia de lo cual son menos las moléculas que chocan con las paredes; y en V_1 no queda ya gas, de modo que la parte de la curva que sube rápidamente corresponde a la escasa compresión de los líquidos.

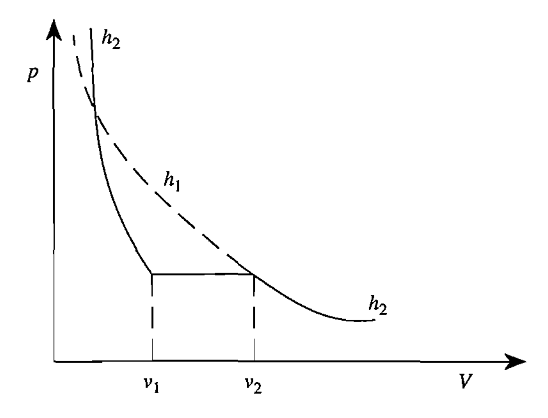


FIGURA 6.15. Compresión isotérmica de un gas real. Las primeras observaciones eran compatibles con h_1. Luego se descubrieron excepciones (desviaciones respecto de h_1). La nueva hipótesis, h_2, da razón de esas excepciones, que se interpretan a su vez.

Cuando se confirman, las excepciones no deben disimularse, porque estimulan la búsqueda de nuevas leyes. (El progreso científico, como el progreso moral, no es posible más que sobre la base de reconocer las imperfecciones.) Este modo de tratar las excepciones supone el reconocimiento del principio de que las excepciones no son absolutas, de que toda excepción lo es respecto de un determinado conjunto de fórmulas. Pero esto presupone a su vez el principio ontológico de legalidad: *Todos los hechos son según leyes* (cf. sección 5.9).

Hablando laxamente, eso significa que todo hecho es un ejemplo de una ley. Pero como sólo las propiedades generales tienen ejemplos y las leyes objetivas no son proposiciones, los hechos no pueden ejemplificar leyes. Podríamos decir, en vez de hablar de ese modo laxo, que todo enunciado de hecho es un ejemplo de sustitución de un enunciado

legaliforme. Pero esto sería también falso, por dos razones: en primer lugar, porque constantemente usamos enunciados contralegales; en segundo lugar, porque sólo las consecuencias lógicas de ínfimo nivel de las fórmulas de nivel alto pueden compararse con la evidencia empírica. Por eso parece mejor enunciado el siguiente: *Todo hecho cumple un conjunto de leyes*; o, si se prefiere: *Todo hecho puede o podría explicarse en última instancia por un conjunto de fórmulas legaliformes* (y un conjunto de datos empíricos).

El término 'hecho' tiene una perturbadora ambigüedad: ¿debe cubrir tanto los hechos simples cuanto los complejos? ¿Debe aplicarse a hechos sueltos y también a conjuntos de hechos? Y en relación con eso, ¿debemos admitir que todo hecho, por complejo que sea, es según ley, y que cualquier conjunto de hechos que tomemos satisfará algún conjunto de leyes? Es claro que no podemos poner limitaciones a la complejidad de los hechos, porque todo acontecimiento requiere la intervención de dos objetos por lo menos, y todo objeto real tiene cierto número de propiedades. Además, tampoco podemos presumir que los conocemos todos, por lo que tenemos que admitir que la complejidad real es por lo menos tan amplia cuanto nos permite apreciarlo la complejidad de nuestras teorías. Por tanto, debemos suponer que la legalidad, si realmente es aplicable en principio, se aplica necesariamente *a cada hecho particular*, por complejo que sea. No ocurre así con conjuntos *arbitrarios de hechos*, por ejemplo, con los conjuntos de acontecimientos que atraen el interés del historiador. Sería absurdo suponer que cualquier secuencia dada de acontecimientos que solicite nuestra imaginación "obedecerá" *qua* secuencia a una determinada ley o un determinado conjunto de leyes. Podemos perfectamente suponer que cada miembro de esa secuencia será según leyes, pero la secuencia en su totalidad no tiene por qué serlo: será según leyes sólo en la medida en que constituya un *proceso particular*, es decir, una cadena (rígida o estocástica) de acontecimientos tales que cada uno de ellos produzca su sucesor o ejerza alguna influencia sobre él.

En la dilucidación del principio de legalidad hemos introducido de contrabando el concepto de *conjunto de leyes*. Ello se debe a que ningún hecho conocido puede explicarse mediante una fórmula legaliforme: todo hecho conocido "obedece" a cierto número de fórmulas legaliformes. Sólo seleccionando convencionalmente una determinada clase de aspectos, por ejemplo, los mecánicos, podemos hacernos la ilusión de que una sola fórmula legaliforme, o un reducido manojo de ellas, dé completamente cuenta de un hecho real dado. Los conceptos de hecho mecánico, hecho eléctrico, etc., son otras tantas abstracciones en contrapartida real. Todo hecho tiene cierto número de aspectos, uno de los cuales puede ser resueltamente predominante sobre los demás. Por ejemplo, una colisión de escasa energía entre dos cuerpos será en general un hecho casi exclusivamente mecánico, pero incluso en él habrá hechos subsidiarios no mecánicos, por ejemplo, la producción de algún calor, o la perturbación del equilibrio eléctrico en las zonas de colisión. Por eso habrá cierto número de leyes que operarán subsidiariamente en una colisión, además de las leyes mecánicas. Otra razón para insistir en que los hechos cumplen conjuntos de leyes más que leyes sueltas es que la explicación rigurosa de un solo aspecto de los hechos suele ya exigir una o más teorías, o sea, sistemas de fórmulas legaliformes.

Pero ¿por qué hemos de aceptar el principio de legalidad? ¿No podría haber hechos completamente sin ley, hechos que no satisfacieran conjunto alguno de leyes? ¿Y no podremos nosotros, en la edad espacial, cambiar las leyes de la naturaleza en alguna medi-

da? Se ha sostenido frecuentemente, desde los tiempos de Epicuro, que puede haber desviaciones espontáneas e indeterminadas respecto de las líneas de las leyes naturales; pero esa afirmación no se ha argüido nunca convincentemente. También se ha sostenido que la microfísica había abandonado el principio de legalidad, que las fluctuaciones características de la teoría de los quanta eran completamente caóticas. Pero eso es un mero equívoco: precisamente partimos de las *leyes* de la teoría de los quanta para inferir que los fenómenos cuánticos presentan una característica fluctuación estadística, la cual, dicho sea de paso, es calculable. Para establecer la existencia de acontecimientos sin ley habría que probar que tales acontecimientos caen fuera de *todo posible* conjunto de fórmulas legaliformes. ¿Y quién se atrevería a intentarlo?

Ningún científico enfrentado con un hecho anómalo puede justificadamente concluir que el hecho es absolutamente ajeno a leyes, porque ningún científico puede dominar todas las leyes descubiertas y descubribles. Y sólo un conocimiento completo de las leyes podría bastar para establecer la legalidad de un hecho, puesto que 'sin ley', significa precisamente "que no satisface ningún conjunto de leyes". Las dos hipótesis contradictorias "Todos los hechos son según ley" y "No todos los hechos son según ley" (o sea, "Algunos hechos son sin ley") no son igualmente probables a la luz de la evidencia disponible. "Todos los hechos son según ley" ha sido hasta ahora confirmada por la ciencia y, además, puede considerarse como sólo confirmable y no refutable. En cambio, "No todos los hechos son según ley" no quedará nunca establecida si, como es probable, el universo físico es infinito al menos en un respeto (el temporal o el espacial).

Hay una aparente excepción al principio de legalidad: el conjunto de los teoremas de la mecánica estadística que empiezan con las palabras 'Casi siempre' o alguna expresión lógicamente equivalente a ella, como 'Para casi todos los puntos', o 'Para casi toda trayectoria'. Todo enunciado de este tipo permite una infinidad numerable de excepciones a la ley formulada a continuación del perturbador prefijo. ¿Qué decir de esas posibles excepciones? ¿Se encuentran realizadas en la naturaleza? Por ejemplo: ¿tienen lugar en algún sistema aislado disminuciones espontáneas de la entropía? En caso de que se presentaran datos en ese sentido: ¿serían reconocidos como excepciones o interpretados como errores experimentales a causa de su repetición improbable y asistemática? Y, caso de reconocerlos como anomalías, ¿serían absolutamente sin ley, u "obedecerían" a leyes diversas? Es decir: ¿sería posible subsumirlos bajo leyes estrictamente universales? La física contemporánea no tiene respuestas para esas preguntas, principalmente porque esas preguntas no se formulan siquiera. En todo caso, la existencia de leyes del tipo de 'casi todos' no refuta el principio de legalidad, porque éste no afirma que todo acontecimiento satisfaga las leyes conocidas, sino que ningún hecho cae fuera de todo esquema de leyes, conocido o desconocido. Y una excepción sin explicar es una provocación al descubrimiento de nuevas leyes, no una refutación del principio de legalidad.

Pero admitiendo que la naturaleza no "viola" sus propias leyes, podría seguirse preguntando si puede cambiarlas el hombre. De acuerdo con una antigua creencia, el hombre puede efectivamente "violar" algunas leyes de la naturaleza (por ejemplo, obrando *contra natura*), tras de lo cual la Naturaleza se venga de su violador. Pero lo que realmente significa esa vieja tradición es que pueden violarse –pagando el precio de un castigo– convenciones sociales que se creen "naturales" simplemente porque son viejas. ¿Qué

decir de las leyes propiamente dichas? La opinión hoy más recibida entre las personas cultas es que el hombre no puede alterar leyes propiamente dichas, pero puede impedir o suspender temporalmente la operación de unas pocas leyes. Por ejemplo: puede impedir el crecimiento normal de ciertas poblaciones controlando su suministro de alimentos o su tasa de reproducción –o incluso aniquilándolas. Pero lo que pasa es que en estos casos utilizamos, por así decirlo, unas leyes para contrarrestar otras.

Puede, sin embargo, argüirse, que, además de impedir y suspender la operación de algunas leyes, el hombre puede provocar el nacimiento de *leyes nuevas* sin más que producir nuevos acontecimientos o nuevas cosas. Pero, en realidad, cuando se produce algo nuevo esa novedad es o bien (*i*) en *número* (ejemplo: un automóvil más de una serie estandarizada o normada), o (*ii*) en la *disposición* (ejemplo: un nuevo modelo de automóvil), o (*iii*) en la *cualidad* (ejemplo: una nueva partícula elemental, o un nuevo polímero, o una nueva planta híbrida antes no hallada en la naturaleza). La novedad radical, la novedad de la que puede presumirse que aparece por vez primera en la historia del universo, se caracteriza por nuevas propiedades o por nuevas relaciones entre propiedades preexistentes. Si las propiedades son nuevas, el principio de legalidad nos llevará a formular la hipótesis de que estarán relacionadas de un modo invariante, o sea, de que cumplirán leyes –nuevas, desde luego. Si las propiedades se habían visto ya previamente ejemplificadas, entonces las relaciones entre ellas constituirán una nueva ley. En cualquier caso, la novedad auténtica en las cosas o en los acontecimientos acompaña a la novedad auténtica en las leyes. Dicho brevemente, la aparición de novedad cualitativa se solapa con la aparición de nuevas leyes. Esto está clarísimo en el caso de los objetos que se encuentran bajo directo control humano, a saber, las relaciones sociales. Siempre que el hombre ha creado una forma nueva de sociedad, ha creado al mismo tiempo nuevas leyes sociales, aunque conservando algunas antiguas, probablemente las relacionadas de un modo más directo con leyes biológicas y psicológicas básicas. Pero la aparición de nuevas leyes no supone ninguna violación del principio de legalidad, sino que plantea el nuevo y complicado problema de las leyes que rigen la aparición de leyes (cf. sec. 9.5).

¿Qué razones tenemos, en definitiva, para aceptar el principio de legalidad? ¿Tal vez y meramente que es la zanahoria que mantiene en marcha el asno de la ciencia? No sólo eso. Además de su valor heurístico, pueden aducirse en su apoyo las siguientes razones. En primer lugar, el principio ha ido confirmándose, mientras que las suposiciones referentes a hechos sin ley han sido refutadas debidamente. En segundo lugar, la búsqueda de la ley –esencia de la investigación científica– presupone no sólo que hay leyes (principio débil), sino, más particularmente, el principio fuerte de que no ocurre nada sin ley. La afirmación dogmática de que tiene que haber ciertos campos –por ejemplo, el del Espíritu– intrínsecamente sin leyes es coja científica y filosóficamente porque impide desde el principio la búsqueda de leyes en el campo de que se trate. De este modo, en efecto, el campo presuntamente sin leyes se excluye de la ciencia, porque no hay ciencia en sentido propio sin fórmulas legaliformes. Por tanto, el mero cultivo de la ciencia presupone el principio de legalidad (cf. sec. 5.9).

¿Qué estatuto tiene el principio de legalidad? Se ha dicho que es una proposición analítica, una fórmula lógicamente verdadera. Tal sería el caso, en efecto, si "ley" y "hecho" se definieran cada uno por el otro. Por ejemplo, si definiéramos "hecho" como "aque-

llo que satisface un conjunto de leyes", el principio "Todos los hechos son según leyes" se convertiría en una tautología. Podemos sin duda tomar esa decisión, pero no debemos hacerlo, porque el principio de legalidad, tal como se entiende corrientemente, está muy lejos de ser vacío, y el vaciarlo no supone ninguna ventaja. Otra objeción al principio puede ser la de que, aunque es confirmable, no es refutable. Efectivamente, en cuanto que apareciera una aparente excepción al principio, la eliminaríamos diciendo que con el tiempo se encontrará una fórmula legaliforme más verdadera bajo la cual pueda subsumirse la aparente anomalía. Y ningún amante de la ciencia puede razonablemente rechazar esta hipótesis protectora y programática, porque suprimir el principio de legalidad sería un crimen peor que el matar la gallina de los huevos de oro: el principio de legalidad no es meramente una pieza del conocimiento, sino su motor. La única salida consiste, pues, en reconocer la existencia de hipótesis irrefutables, entre ellas las del principio de legalidad, en la medida en que promueven la investigación, en vez de bloquearla. (La necesidad de hipótesis irrefutables, pero fundadas y confirmadas, se arguye en la sección 5.8.).

Puede estimarse la medida en la cual el principio de legalidad promueve la investigación observando que es la base de un principio metodológico que, de un modo u otro, ha inspirado siempre la investigación. Se trata de la siguiente

> REGLA. Buscar leyes sin permitir que nos detengan en esa búsqueda ni el fracaso (descubrimiento de excepciones) ni el éxito (descubrimiento de leyes por el momento sin excepciones).

Suponiendo que aceptamos el principio de legalidad, podemos preguntarnos qué clase de principio es. No es una hipótesis científica, puesto que no se refiere a ninguna clase particular de hechos ni es plenamente contrastable por la experiencia. El principio no es tampoco metacientífico, puesto que no se refiere a la ciencia, aunque sea relevante para ella. (A primera vista puede considerarse como un principio metanomológico, puesto que se refiere a leyes. Pero también esta identificación sería errónea, porque es claro que el término 'según leyes' que se presenta en el enunciado que expresa nuestro principio, significa "que satisface leyes objetivas" y no "de acuerdo con enunciados legaliformes".) Al no ser ni científico, ni lógico, ni epistemológico, el principio de legalidad tiene que ser ontológico, con la condición de que el término 'ontología' se libere de su significación tradicional de "ciencia del ente como tal", independiente de la ciencia factual, y se entienda en cambio como nombre de una disciplina que, con espíritu científico, trata de amplias categorías con referencia factual, como la ley, el tiempo, la organización, y de fórmulas legaliformes no restringidas a campos especiales, como "Nada se desarrollará eternamente". Dicho con pocas palabras: el principio de legalidad es un principio ontológico presupuesto y confirmado por la investigación científica.

Esto completa nuestro estudio de las leyes. Podemos ahora plantearnos el tema de los sistemas de fórmulas legaliformes, o sea, de las teorías científicas.

Problemas

6.8.1. La alergia y la anafilaxis se consideraron inicialmente como excepciones a las leyes de la inmunidad, y ahora se entienden como una clase de reacción de inmunidad. Dar razón de ese desarrollo en el sentido de la legalidad.

6.8.2. La partenogénesis ("nacimiento por una virgen") accidental u ocasional se ha considerado como imposible o como milagroso, y en cualquier caso fuera del orden de la ley. ¿Cuál es hoy día el estatuto de esa noción? Indicación: buscar y discutir información acerca de la embriología de los lagartos. *Problema en lugar de ése*: El código genético puede sufrir cambios espontáneos (mutaciones) a causa de "errores protónicos". ¿Son esos "errores" desviaciones casuales de la ley?

6.8.3. Comentar la frase de Montesquieu "Las leyes son relaciones necesarias que se desprenden de la naturaleza de las cosas" (proposición inicial de *L'esprit des lois*). *Problema en lugar de ése*: Discutir el cap. x –"On Miracles"– de *An Inquiry Concerning Human Understanding*, de D. Hume, del que hay muchas ediciones.

6.8.4. Examinar el siguiente fragmento tomado de B. Russell, "On Scientific Method in Philosophy", 1914, reimpreso en *Mysticism and Logic*, Londres, Penguin Books, 1953, p. 99: "...lo sorprendente en la física no es la existencia de leyes generales, sino su gran simplicidad. Lo que debe sorprendernos no es la uniformidad de la Naturaleza porque, con suficiente habilidad analítica, todo decurso concebible de la Naturaleza puede presentarse como dotado de uniformidad. Lo que debe sorprendernos es el hecho de que la uniformidad sea tan simple que podamos descubrirla". ¿En qué tipo de fórmulas legaliformes está pensando Russell al escribir eso: en generalizaciones empíricas, del tipo de las curvas empíricas, o en leyes teoréticas? ¿Y qué tipo de simplicidad tiene presente: sintáctica, semántica, epistemológica o pragmática? Para un análisis de la simplicidad cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, especialmente caps. 4 y 5. *Problema en lugar de ése*: Explicitar las diferencias entre línea tendencial y ley. Tener presente que, mientras de las leyes suele suponerse que son eternas (cosa discutible), ninguna línea tendencial puede proseguir indefinidamente: cuanto más tiempo se ha mantenido una línea tendencial, tanto más probable es que se detenga o cambie (G. G. Simpson).

6.8.5. Listar algunas leyes sociales. Véase M. Bunge, *Social Science under Debate*, Toronto: University of Toronto Press, 1998.

6.8.6. Describir algunos rasgos de un imaginario mundo sin leyes. En particular, discutir si podríamos obrar deliberada y eficazmente en un mundo así y si en él podríamos aprender algo de la experiencia. *Problema en lugar de ése*: Discutir la conjetura según la cual nuestras experiencias infrecuentes, así como las anomalías halladas en el curso del trabajo científico, son casos de ruptura de las leyes de la naturaleza y, en particular, resultado de la interferencia con "fenómenos psíquicos", tales como la psicocinesis.

6.8.7. ¿Es según leyes todo conjunto de hechos? En particular, ¿es según leyes todo conjunto de acontecimientos sucesivos de alguna clase? Recordar el caso de las series temporales casuales (cf. sección 6.6.). Intentar establecer un criterio de legalidad para conjuntos de hechos, y relacionar este problema con el de las leyes de la historia. *Problema en lugar de ése*: ¿Puede refutar la experiencia el principio de legalidad? Cf. W. Whewell, *Philosophy of the Inductive Sciences*, 2a. ed., Londres, Parker, 1847, I, p. 253.

6.8.8. H. Reichenbach, en sus *Elements of Symbolic Logic*, Nueva York, Macmillan, 1947, p. 393, propuso las siguientes definiciones:

Df 1 p es físicamente necesario $=_{df}$ 'p' es un enunciado nomológico.
Df 2 p es físicamente imposible $=_{df}$ '$-p$' es un enunciado nomológico.
Df 3 p es físicamente posible $=_{df}$ ni 'p' ni '$-p$' son enunciados nomológicos.

Discutir las siguientes cuestiones: (*i*) Según Df 1, las fórmulas legaliformes probabilistas no cubrirían más que acontecimientos necesarios, a menos que estipuláramos caprichosamente qué 'enunciado nomológico' no designa una fórmula legaliforme probabilista. Y como ninguno de los dos resultados parece deseable, ¿qué debemos hacer con Df 1 y con su consecuencia Df 2? (*ii*) Df 3 parece poner en equivalencia el concepto de "físicamente posible" con el de "sin ley", lo cual elevaría los milagros a la categoría de lo físicamente posible. ¿Hay alguna salida de esa situación? (*iii*) Proponer una definición propia de "físicamente posible". *Problema en lugar de ése*: La ciencia estudia cierto número de clases de acontecimientos casuales. ¿Significa 'casualidad' "sin ninguna ley"? Cf. J. Venn, *The Logic of Chance*, 3a. ed., 1888; Nueva York, Chelsea Publishing Co., 1962, cap. v, y M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, cap. 11.

6.8.9. Suponiendo que puede cambiar el acervo de leyes objetivas, pueden también concebirse dos tipos de cambio: (*i*) que surjan nuevas leyes, y (*ii*) que cambien algunas leyes preexistentes. Primera cuestión: ¿En qué podría consistir el cambio de una ley? Segunda cuestión: ¿Sería un tal cambio continuo o discontinuo? Tercera cuestión: ¿Serían según leyes la aparición de leyes nuevas y el cambio de leyes preexistentes? En caso afirmativo, ¿habría leyes del cambio de leyes? *Problema en lugar de ése*: De muchas cosas se dice que son arbitrarias: por ejemplo, los nombres son arbitrarios, en el sentido de que no corresponden a ninguna propiedad de los objetos nombrados. ¿Se trata de casos de ausencia de ley?

6.8.10. Discutir el siguiente fragmento, tomado de H. Weyl, *Symmetry*, Princeton, Princeton University Press, 1952, p. 26: "Si toda la naturaleza fuera según leyes, entonces todo fenómeno conllevaría la simetría plena de las leyes universales de la naturaleza tal como se formulan en la teoría de la relatividad. El mero hecho de que ése no sea el caso prueba que la contingencia es un rasgo esencial del mundo." Primera cuestión: ¿Lleva razón Weyl al suponer que las leyes teoréticas describen los fenómenos, y hasta que todo fenómeno puede describirse totalmente sobre la base de una sola fórmula legaliforme o de una sola teoría? Segunda cuestión: Las simetrías presentes en las leyes de nivel alto, ¿quedan necesariamente conservadas por sus consecuencias de nivel bajo, las que sirven para describir los fenómenos? Considerar, por ejemplo, la simetría temporal de las leyes de la mecánica, o sea, su invariancia respecto del cambio de t por $-t$. Tercera cuestión: ¿Hay que identificar la legalidad con la simetría matemática que presentan las leyes fundamentales de la teoría de la relatividad (cuando se formulan de un modo adecuado para producir la simetría matemática entre las coordenadas de tiempo y espacio)? *Problema en lugar de ése*: Discutir el papel de las leyes en el conocimiento de la esencia de los hechos actuales y en la previsión de los posibles.

BIBLIOGRAFÍA

Ashby, W. Ross, *An Introduction to Cybernetics*, Londres, Chapman and Hall, 1956, cap. 7.

Bridgman, P. W., *Dimensional Analysis*, Nueva Haven, Conn., Yale University Press, 1922.

Bunge, M., *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, cap. 4.

——, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, caps. 9-12.

——, *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.

——, *Economía y filosofía*, Madrid, Tecnos, 1982

——, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 10.

——, *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998 [*Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana, 1999].

Exner, F., *Vorlesungen über die Physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, 2a. ed., Leipzig y Wien, Deuticke, 1922, parte IV.

Kant, I., *Prolegómenos a toda metafísica futura que quiera presentarse como ciencia*, varias eds.

Kneale, W., *Probability and Induction*, Oxford, Clarendon Press, 1949, seccs. 16-20.

Mahner, M., y M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy*, Nueva York, Springer, 1997 [*Fundamentos de la biofilosofía*, Siglo XXI, 2000].

Mehlberg, H., *The Reach of Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1958, parte II, cap. 2.

Mill, J. Stuart, *A System of Logic*, 8a. ed., 1875, Longmans, Green and Co., 1952, libro III, cap. IV.

Popper, K. R., *The Open Society and its Enemies*, 4a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1962, I, cap. 5.

———, *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1960, seccs. 20 y 26-28.

Schrödinger, E., *Science: Theory and Man*, 1935; Nueva York, Dover Publications, 1957, cap. VI.

Stanley Jevons, W., *The Principles of Science*, 2a. ed., 1877, Nueva York, Dover Publications, 1958, caps. XXI, XXII, XXIX y XXXI.

Yule, G.U., y M. G. Kendall, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 14a. ed., Nueva York, Hafner, 1950, caps. 26 y 27.

7. TEORÍA: ESTÁTICA

Las síntesis están más allá de la ciencia inicial, igual que tampoco se encuentran en el pensamiento infantil. La investigación científica, como la curiosidad infantil, arranca de preguntas; pero, a diferencia de las preguntas infantiles, culmina con la construcción de sistemas de ideas muy compactos, a saber, las teorías. Es una peculiaridad de la ciencia contemporánea el que la actividad científica más importante –la más profunda y la más fecunda– se centre en torno a teorías, y no en torno a la recolección de datos, las clasificaciones de los mismos o hipótesis sueltas. Los datos se obtienen a la luz de teorías y con la esperanza de concebir nuevas hipótesis que puedan a su vez ampliarse o sintetizarse en teorías; la observación, la medición y el experimento se realizan no sólo para recoger información y producir hipótesis, sino también para someter a contrastación las teorías y para hallar su dominio de validez; las explicaciones y las predicciones se realizan también en el seno de teorías; y la misma acción, en la medida en que es deliberada, se basa cada vez más en teorías. Dicho brevemente: lo que caracteriza la ciencia moderna es la insistencia en la teoría –en la teoría empíricamente contrastable, desde luego– y no el interés primordial por la experiencia en bruto.

En una teoría hay que distinguir entre la forma y el contenido, entre la estructura lógica y la interpretación. Bastan esqueletos con ciertas propiedades puramente lógicas para tener teorías: hay, en efecto, teorías formales –o sea, teorías lógicas o matemáticas. Pero en una teoría factual se constituyen simultáneamente los huesos y la carne. Por tanto, aunque hay que distinguir los unos de la otra, no pueden, en cambio, separarse: la semántica de una teoría va de la mano de su sintaxis. Pero, como es natural, puede subrayarse en cada momento uno solo de esos dos aspectos complementarios. El presente capítulo acentúa la estructura, mientras que el siguiente subraya las referencias factuales, el contenido. En la Parte III nos ocuparemos de las aplicaciones de las teorías, y en la Parte IV de su contrastación.

7.1. EL SISTEMA NERVIOSO DE LA CIENCIA

La infancia de toda ciencia se caracteriza por su concentración sobre la búsqueda de variables relevantes, datos singulares, clasificaciones e hipótesis sueltas que establezcan relaciones entre esas variables y expliquen aquellos datos. Mientras la ciencia permanece en este estadio semi-empírico carece de unidad lógica: una fórmula de cualquier rama de la ciencia es una idea autocontenida que no puede relacionarse lógicamente con fórmulas de otras ramas. Consiguientemente, la contrastación empírica de cualquiera de ellas puede dejar sin afectar a las demás. Dicho brevemente: mientras se encuentran en el estadio semi-empírico –preteorético–, las ideas de una ciencia no se enriquecen ni controlan las unas a las otras.

A medida que se desarrolla la investigación se descubren o inventan relaciones entre las hipótesis antes aisladas, y se introducen hipótesis más fuertes que no sólo contienen las viejas, sino que dan de sí generalizaciones inesperadas: como resultado de ello se constituyen uno o más *sistemas de hipótesis*. Estos sistemas son síntesis que incluyen lo conocido, lo meramente sospechado y lo que puede predecirse acerca de un tema dado. Tales síntesis, caracterizadas por la existencia de una relación de deducibilidad entre algunas de sus fórmulas, se llaman sistemas hipotético-deductivos, modelos o, simplemente, teorías. Ejemplos destacados de teorías científicas son la mecánica de Newton, la teoría evolucionista de Darwin y la genética de poblaciones.

En el lenguaje ordinario y en la metaciencia ordinaria, 'hipótesis', 'ley' y 'teoría' son términos que se intercambian frecuentemente; y a veces se entiende que las leyes y las teorías son el núcleo de las hipótesis. En la ciencia progresada y en la metaciencia contemporánea suele distinguirse entre los tres términos: 'ley' o 'fórmula legaliforme' designa una hipótesis de una cierta clase, a saber, una hipótesis no singular, no aislada, referente a una estructura o esquema y corroborada; y 'teoría' designa un sistema de hipótesis entre las cuales destacan las leyes, de modo que el núcleo de una teoría es un sistema de fórmulas legaliformes. Para minimizar las confusiones al respecto adoptaremos provisionalmente la siguiente caracterización: un conjunto de hipótesis científicas es una teoría científica si y sólo si refiere a un determinado tema factual y cada miembro del conjunto es o bien un supuesto inicial (axioma, supuesto subsidiario o dato) o bien una consecuencia lógica de uno o más supuestos iniciales. Esta caracterización se afinará en las secciones siguientes. La caracterización, tal como está ahora, sugiere diagramas arborescentes como el de la figura 7.1, que representa una teoría imaginaria e ilustra la subclase de las teorías conocidas con el nombre de 'teorías axiomáticas', las cuales no contienen más supuestos que los axiomas. Todo en esas teorías depende de los supuestos iniciales, o hipótesis del nivel más alto. Si se prefiere el nombre 'supuesto básico' al de 'hipótesis del nivel más alto' hay que invertir el árbol; en este caso se obtiene una forma de diagrama arborescente corriente en el álgebra.

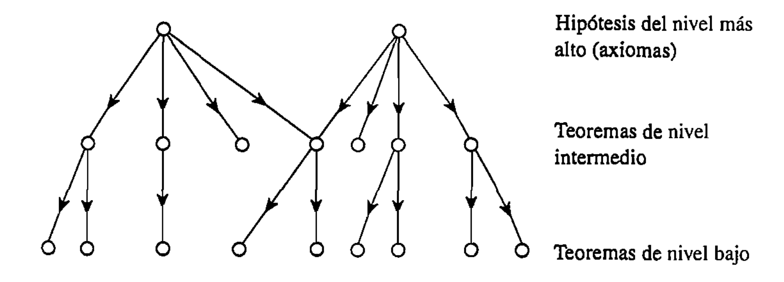


FIGURA 7.1. Representación gráfica de una teoría axiomática imaginaria de dos premisas iniciales (axiomas). Las flechas simbolizan la relación de consecuencia lógica, $\vdash$. Cuando dos flechas llevan a un mismo nodo se tiene una representación de la deducción de una fórmula a partir de dos fórmulas de nivel superior tomadas conjuntamente.

Un manojo de hipótesis sin coordinar, aunque siempre es mejor que la completa falta de hipótesis, puede compararse con un acúmulo de protoplasmas sin sistema nervioso. Es ineficaz, no ilumina nada y, además, no da razón de las efectivas interrelaciones que se dan entre algunas de las estructuras reales (leyes objetivas). El progreso de la ciencia no consiste en amontonar sin criterio crítico generalizaciones aisladas, y aún menos datos sueltos. El progreso de la ciencia supone siempre, en menor o mayor medida y entre otras cosas, un aumento de la *sistematicidad* o coordinación. La sistematicidad tiene, entre otras, las siguientes virtudes: (*i*) una proposición factual puede adquirir pleno sentido sólo dentro de un contexto y por virtud de sus relaciones lógicas con otros elementos de dicho contexto, mientras que una proposición aislada –en la medida en que tales proposiciones existan– difícilmente tiene significación; (*ii*) al quedar absorbida en una teoría, una hipótesis recibe el apoyo (o la refutación) de un campo factual más amplio, a saber, el campo entero cubierto por la teoría; mientras que una hipótesis aislada no tiene más apoyo, si tiene alguno, que el de sus propios casos. Dicho brevemente: la teorización hace más precisa la significación de las hipótesis y refuerza su contrastabilidad. Además, explica la mayoría de la hipótesis por el procedimiento de subsumirlas bajo supuestos más fuertes (axiomas y teoremas de nivel intermedio).

El volumen y la adecuación relativos del trabajo teorético miden, pues, el grado de progreso de una ciencia, al modo como la dimensión y la eficiencia relativas del sistema nervioso son un índice del progreso biológico. Por esta razón la psicología y la sociología, a pesar de su enorme acervo de datos empíricos y generalizaciones de bajo nivel, siguen considerándose aún en un estadio subdesarrollado: porque no abundan en teorías lo suficientemente amplias y profundas como para dar razón del material empírico disponible. Pero en esos como en otros departamentos de la investigación, la teorización se considera frecuentemente como un lujo, y no se admite como ocupación decente más que la recolección de datos, o sea, la descripción. Y esto hasta el punto de que está de moda en esas ciencias oponer la teoría (como especulación) a la investigación (entendida como acarreo de datos). Esta actitud paleocientífica, sostenida por un tipo primitivo de filosofía empirista, es en gran parte la causa del atraso de las ciencias del hombre. En realidad, ese punto de vista ignora que los datos no tienen sentido ni pueden ser relevantes más que en un contexto teorético, y que la acumulación al azar de datos, e incluso las generalizaciones que no son más que condensaciones de datos, son en gran parte pura pérdida de tiempo si no van acompañadas por una elaboración teorética capaz de manipular esos resultados brutos y de orientar la investigación. No se puede saber si un dato es relevante si no se es capaz de interpretarlo; y la interpretación de datos requiere el uso de teorías. Además, sólo las teorías pueden sugerir la búsqueda de información no suministrada espontáneamente por los sentidos: imagínese cómo habría sido posible sin una teoría genética la búsqueda del código genético. Por otra parte, es instructivo reflexionar acerca del descubrimiento de que el pulpo obtiene de su medio aproximadamente la misma información que recibimos nosotros del nuestro, o sobre el hecho de que los perros reciben incluso más información sensorial de ciertas clases que nosotros, pese a lo cual no han desarrollado ninguna ciencia.

Como la comprensión de la ciencia como mera recolección de datos y condensación de ellos en generalizaciones empíricas ignora los objetivos de la teorización, será conve-

niente formular éstos de modo explícito. Los desiderata básicos de la construcción de teorías científicas son los siguientes: (*i*) *Sistematizar el conocimiento* estableciendo relaciones lógicas entre entidades antes inconexas; en particular, explicar las generalizaciones empíricas derivándolas de hipótesis de nivel superior. (*ii*) *Explicar los hechos* por medio de hipótesis que impliquen las proposiciones que expresan dichos hechos. (*iii*) *Incrementar el conocimiento* derivando nuevas proposiciones (por ejemplo, previsiones) de las premisas, en conjunción con información relevante. (*iv*) *Reforzar la contrastabilidad* de las hipótesis sometiéndolas al control de las demás hipótesis del sistema.

La anterior lista de objetivos básicos de la teorización científica puede usarse como criterio para separar las teorías científicas de las *pseudoteorías*. Ningún conjunto de conjeturas se considerará como una teoría científica factual si no constituye un sistema hipotético-deductivo propiamente dicho, si no suministra explicación y previsión y si no es contrastable. Esto es lo menos que debe exigirse de una teoría científica, aunque muchas doctrinas que se consideran teorías –como la psicología de la *Gestalt* o forma, el psicoanálisis y la parapsicología– no satisfacen todos esos requisitos.

Unas cuantas teorías científicas satisfacen no sólo los desiderata básicos *i-iv*, sino, además, los siguientes objetivos adicionales: (*v*) *Orientar la investigación*, ya *a*] mediante el planteamiento o la reformulación de problemas científicos fecundos, ya *b*] mediante sugerencias sobre la recolección de nuevos datos que serían inimaginables sin la inspiración de la teoría, ya *c*] inspirando nuevas líneas enteras de investigación. (*vi*) *Ofrecer un mapa de un sector de la realidad*, esto es, una representación o modelo (generalmente simbólico, no icónico o imaginativo) de objetos reales, y no un mero sumario de datos y un procedimiento para producir datos nuevos (previsiones).

Las teorías que satisfacen los seis desiderata *i-vi* se consideran generalmente *grandes* teorías científicas. Entre ellas, las más grandes son las que producen un *modo de pensar* enteramente *nuevo*: éstas son los gigantes del conocimiento científico. Ejemplo de gran teoría científica que revoluciona el modo de pensar en varias ramas de la ciencia es la teoría darwinista de la evolución: esa teoría planteó los problemas del origen de las diferencias individuales y de los mecanismos de formación de especies nuevas y de su distribución geográfica; acostumbró a los biólogos, y luego a los sociólogos, los psicólogos, los lingüistas y otros, a pensar a base de los conceptos de origen, adecuación y evolución. No puede, pues, asombrar que las grandes teorías se consideren como la cima de la ciencia.

¿Cuándo debe empezar la teorización? Esta pregunta presupone que la teorización tiene que empezar en algún momento. Ese presupuesto queda aparentemente refutado por la existencia de disciplinas pre-teoréticas, como la geografía y la sistemática biológica pre-evolucionista, que son estrictamente descriptivas y taxonómicas. Pero como no formulan ni contrastan hipótesis, no tienen ocasión de utilizar el método científico, y, consiguientemente, no son ciencias, sino disciplinas no-científicas, por exactas que puedan ser. Esas disciplinas suministran y hasta sistematizan datos que luego puede usar la ciencia, pero ellas mismas no son ciencias, sino protociencias a lo sumo. Así, por ejemplo, la geografía suministra información a la geología y a la sociología, y la sistemática pre-evolucionista la facilita a la biología. Esos datos se convierten en problemas que tienen que resolverse mediante la construcción de teorías. Donde no hay teoría no hay ciencia.

Nuestra anterior pregunta –'¿Cuándo debe empezar la teorización?'– no tiene, pues,

más que una respuesta razonable, aunque sibilina: 'La teorización debe empezar lo antes posible.' Los espíritus especulativos empezarían a teorizar –sobre la vida en otros planetas, por ejemplo– *antes* de haber conseguido cualquier información acerca de las condiciones físicas que imperan en esos cuerpos. Las mentalidades más terrestres, por el contrario, retrasarían la teorización sobre ese tema hasta *después* de haberse asegurado una gran masa de observaciones sobre organismos extraterrestres, y condenarían por acientífico todo intento de interpretar datos indirectos, astronómicos, como evidencia en favor o en contra de conjeturas relativas a la vida extraterrestre. La teorización sobre la base de una información insuficiente puede llevar a teorías irrelevantes o inmaduras, del mismo modo que la recolección de datos sin la luz de ninguna teoría puede llevar a información irrelevante o, por lo menos no comprendida. Las dos cosas pueden suponer una gran pérdida de tiempo, pero, en todo caso, sin alguna previa especulación nadie tendría siquiera la idea de recoger datos de una cierta naturaleza, por ejemplo, datos relevantes para la hipótesis de que haya organismos fuera de nuestro planeta.

Un motivo de la teorización es la sistematización de un cuerpo de datos obtenidos a la luz de algunas conjeturas sueltas. ¿Cuál es la masa de datos necesaria para empezar a teorizar? ¿Cuándo no es ni demasiado pronto ni demasiado tarde para empezar? Nadie puede contestar a esas preguntas. Todo depende de la novedad del campo y de la existencia de científicos de orientación teorética dispuestos a correr el riesgo de proponer teorías que acaso no consigan dar razón de los datos o que sucumban a la primera acometida de nueva información buscada para contrastarlas: esto exige bastante valor moral, especialmente en una época dominada por el criterio del éxito: la mejor manera de asegurarse el éxito académico consiste, naturalmente, en no tocar problemas serios. Parecen, a pesar de todo, ciertas dos cosas: que la teorización prematura será probablemente errada –aunque no estéril–, y que el retraso grande en teorizar es peor que cualquier número de fracasos, porque (*i*) promueve la acumulación ciega de información que puede resultar en su mayor parte inútil, y (*ii*) la gran masa de información puede hacer casi imposible el arranque de la teorización.

En efecto: un número grande de datos sin estructurar son un estorbo, porque siempre que se dispone de un gran cuerpo de información es improbable la construcción de un modelo sencillo, y lo más que podemos conseguir en los comienzos de un proceso de teorización son precisamente modelos sencillos. (Las calculadoras pueden "manipular" –o sea almacenar, seleccionar, agrupar y hasta condensar– cualquier cantidad de datos, pero no apreciarán esquema alguno en ellos, como no sean las estructuras inicialmente introducidas en las máquinas por los operadores, por ejemplo, estructuras polinómicas. Sólo cerebros entrenados en un medio que disponga de una tradición cultural pueden discernir estructuras o más propiamente, formularlas hipotéticamente.) Al comienzo no se construyen más que modelos sencillos que, si son científicos, pueden acaso mejorarse, complicarse para recoger mejor los datos y conseguir comprensión más profunda. Y desde el principio hasta el final no se construyen más que *modelos* o esquematizaciones teoréticas, o sea, sistemas conceptuales que intentan *representar* algunos aspectos interrelacionados de sistemas reales. (Un modelo, en este sentido del término, no tiene por qué ser visualizable ni imaginativamente intuible: puede ser simbólico o abstracto en sentido epistemológico. Los modelos intuibles son sólo una subclase de los modelos.)

Mientras que el experimentador se ocupa de la investigación de sistemas reales –por ejemplo, fluidos reales– en todos sus detalles relevantes, y de averiguar en qué medida las teorías disponibles dan razón de tales objetos concretos, el teorizador no maneja en absoluto sistemas reales, sino que crea idealizaciones de los mismos que no conservan sino algún parecido con ellos. En realidad, toda teoría científica se limita a referirse a unos *pocos aspectos* del sistema real que esquematiza –por ejemplo, a sus aspectos mecánicos. Además, no introduce para dar cuenta de tales aspectos, sino unas *pocas variables*, despreciando o desconociendo las demás. Por último, tampoco se introducen sino unas *pocas relaciones* entre esas variables relevantes, para dar razón del esquema objetivo de la estructura y el comportamiento del correlato real.

Dicho brevemente: las teorías científicas tratan de *modelos ideales* que se supone representan, de modo más o menos simbólico y con alguna aproximación, ciertos aspectos de los sistemas reales, y jamás todos sus aspectos. Por ejemplo, una teoría de las transacciones económicas puede idealizar a la gente atribuyéndole un comportamiento puramente racional, y puede descartar todo rasgo no-económico del comportamiento de los sujetos. Por esta razón, aunque frecuentemente se llama *modelos* a las teorías, es más correcto decir que las teorías *suponen modelos* y que estos modelos, y no las teorías mismas, es lo que se supone que representan los correlatos de las teorías. Una teoría, tomada en su totalidad, *refiere* a un sistema –o, más bien, a una clase de sistemas–, y el modelo supuesto por la teoría *representa* ese sistema. Cf. fig. 7.2. Teorías rivales tendrán el mismo correlato, pero lo presentarán de modos diversos; y no es necesario que los modelos correspondientes difieran entre sí. Así, por ejemplo, una colección de partículas puntuales puede servir como modelo en una teoría clásica y en una teoría relativista.

Ninguna teoría retrata una cosa real, o un acontecimiento o un proceso reales. En primer lugar, porque la mayoría de los aspectos de éstos son desconocidos o irrelevantes, o relevantes pero secundarios (o considerados tales). En segundo lugar, porque ninguna teoría es un *retrato* en sentido propio: las teorías científicas son construcciones realizadas con materiales (conceptos, hipótesis y relaciones lógicas) que son esencialmente diferentes de sus correlatos, y, en su mayor parte, de naturaleza no imaginativa.

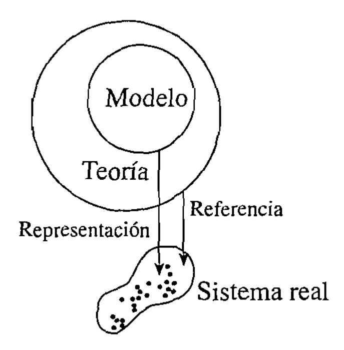


FIGURA 7.2. Las teorías no son modelos, sino que incluyen modelos. Un modelo es una representación idealizada de una clase de objetos reales.

(También una fotografía es esencialmente diferente del objeto retratado pero en cambio consta de material perceptible.) Pues, por de pronto, la lógica y la matemática –el

cemento que enlaza los conceptos científicos– son simbólicas. Y lo mismo son muchos conceptos sustantivos de las teorías científicas, como "carga eléctrica" y "elección". Desde luego que la mayoría de esos conceptos sustantivos tienen correlato; pero a pesar de ello son tan simbólicos como la palabra escrita, a diferencia del jeroglífico: la palabra es un símbolo, o signo no-icónico, que puede referir a un objeto real. Dicho brevemente: las teorías factuales son *abocetadas* y *simbólicas*, no reconstrucciones completas e icónicas de sistemas reales.

Se pregunta frecuentemente si existen objetivamente las "entidades teoréticas". No existen, desde luego. Lo que puede existir es la cosa individual, el acontecimiento o la propiedad a que refiere la teoría que contiene un determinado predicado teorético. Aún más: no todos los componentes de una teoría factual pueden tener individualmente un correlato real propio. Piénsese en una partícula que se mueve en un campo de fuerzas: estas dos cosas –la partícula y el campo– que por su interacción constituyen un solo sistema, pueden existir separadamente hasta cierto punto (esto es, mientras el campo no sea el de la partícula). Pero ¿qué decir de los conceptos que constituyen el modelo teorético de este sistema, como "posición instantánea de la partícula" e "intensidad del campo en un punto dado"? Esos conceptos no tienen, desde luego, existencia separada: son conceptos, conceptos sin duda con significación factual, pero conceptos. Además, es dudoso que podamos asignarles contrapartidas materiales individuales. Lo normal es más bien que tenga tal contrapartida en el mundo real la imagen teorética *total*, a saber, el *todo* del sistema físico (partícula-en-un-campo). Las varias partes, propiedades y relaciones de un tal sistema real no tienen existencia separada. Sin duda una mota de polvo que zigzaguea por una habitación ocupa una posición en cada instante, y el campo electromagnético de una válvula del televisor tiene una determinada intensidad en cada punto. Pero si se elimina la mota de polvo se elimina también la posición de la partícula, y si se apaga el televisor desaparecerá la intensidad que tenga el campo en cada punto. No hay propiedades independientes, igual que no hay cosas sin propiedades. Preguntar si existen la posición y la intensidad es como preguntar si existe la relación "más" o si existe la función mental: es caer en el pecado de reificación de los predicados. Nosotros somos los que, para explicar el comportamiento de los objetos concretos, construimos modelos conceptuales que, por precisos que sean, no pueden pretender una contrapartida real y separada para cada uno de sus ingredientes. Dicho brevemente: la correspondencia entre los modelos teoréticos y sus correlatos no es puntual, sino una correspondencia *de sistema a sistema.*

La complejidad de la relación entre la teoría y la realidad, el hecho de que las teorías no sean simplemente resúmenes de datos ni instantáneas de las cosas, sugiere que cuanto antes empiece el trabajo teorético en un campo, tanto más fácil será el desarrollo del conocimiento en él. En los comienzos de una ciencia, cuando se conocen unos pocos hechos y unas pocas generalizaciones, mientras que los criterios de rigor son bastante laxos, es relativamente fácil intentar construir teorías, especialmente con la ayuda de las técnicas simbólicas de la matemática. A medida que se conocen más hechos, en parte gracias a la intervención de teorías aún groseras, es posible perfeccionar éstas; a su vez, las teorías perfeccionadas resultan un instrumento más útil para la consecución de nueva información relevante que de otro modo no podría siquiera buscarse. En cambio, si se va retrasando la construcción de teorías, por no sentirse su necesidad o por temor a los fracasos,

ocupará su lugar un confuso conjunto de creencias y un haz de procedimientos ciegos, pues, en cualquier caso, lo que es imposible es proceder sin ideas. Por este camino la acumulación de datos puede llegar a ser tan imponente y desordenada que sólo un ejército de genios sea capaz de adivinar por dónde debe empezarse a teorizar. Esto es lo que ha ocurrido con la acumulación casual y durante milenios de información imprecisa y superficial –aunque muy a menudo sumamente "interna"– acerca del comportamiento humano. hay, pues, que intentar formular teorías desde los primeros estadios: en cualquier caso y de algún modo serán superadas, si existen, por otras teorías más complejas y verdaderas.

Las primeras teorías que se presenten en un campo ocupado por los coleccionistas de datos serán muy probablemente objeto de la irrisión de éstos, porque serán por fuerza demasiado artificiales, demasiado abocetadas y demasiado imprecisas. Pero ese tipo de fácil crítica no suele promover el trabajo teorético y responde a una errónea concepción de la naturaleza de las teorías. Nadie ha visto nunca un cuerpo sólido o un fluido como los representados por la mecánica racional: los materiales reales se comportan de un modo muy distinto del prescrito para sus modelos teoréticos, pero estos modelos son indispensables hasta para preparar experimentos referentes a los sólidos y a los fluidos reales. La respuesta correcta a la crítica de artificialidad no consiste en partir de las cosas reales y reunir información sobre ellas, sino en introducir más predicados teoréticos y más hipótesis que los relacionen, con la intención de enriquecer el modelo teorético, y en preparar experimentos que imiten en la medida de lo posible las condiciones teoréticas ideales. Ningún científico puede rechazar una teoría porque no represente fielmente su objeto de un modo completo. Todas las teorías científicas son (*i*) *parciales*, en el sentido de que tratan sólo algunos aspectos de sus correlatos, y (*ii*) *aproximadas*, en el sentido de que no están libres de errores.

La teoría científica perfecta (completa y enteramente precisa) no existe ni existirá nunca. El primer miembro de esta conjunción es fácil de establecer con la ayuda de información empírica referente a los logros de las teorías existentes; ninguna de ellas da razón de todos los rasgos de sus correlatos con cualquier grado de precisión deseada –y si alguna teoría parece perfecta, bastará esperar un poco para que deje de parecerlo. El segundo miembro de la anterior tesis –"Nunca se construirá una teoría perfecta"– no puede considerarse irrefutable porque, si se afirma la perfección de cualquier teoría, podemos argüir que la apariencia de perfección es una ilusión debida a nuestras actuales limitaciones, y que la experiencia futura descubrirá más pronto o más tarde imperfecciones de la misma. Este argumento, ciertamente, respira dogmatismo. Pero no necesitamos recurrir a una argumentación a posteriori como ésa, y aún menos a una argumentación que depende de la experiencia futura: la imperfección de toda teoría científica y, por tanto, su fracaso posible, puede establecerse a priori. La argumentación es como sigue.

Toda teoría científica se construye desde el comienzo como una idealización de sistemas o situaciones reales. O sea, la mera construcción de una teoría científica supone *simplificaciones* tanto en la selección de las variables relevantes como en la formulación de hipótesis acerca de relaciones (por ejemplo, enunciados legaliformes) entre ellas. Esas simplificaciones se practican siempre, nos demos cuenta o pasemos por alto el hecho de que equivalen a errores –no confusiones, sino errores en el estricto sentido de discrepancias con los hechos reales. Aún más: lo que acabamos de afirmar no es un mero enuncia-

do descriptivo de costumbres vigentes en la construcción de teorías; es una regla de la construcción de teorías, la cual prescribe que se hagan en el punto de partida todas las simplificaciones que sean necesarias, reduciéndolas luego gradualmente sólo en la medida en que resulten ser amputaciones demasiado brutales. Tales simplificaciones son, desde luego, discrepancias queridas y buscadas respecto de la verdad.

Las idealizaciones intrínsecamente presentes en los supuestos iniciales se propagarán hasta sus consecuencias contrastables, además, muchas veces hay que añadir a los axiomas propiamente dichos, con objeto de poder derivar teoremas comparables con los datos empíricos, supuestos simplificadores auxiliares de los que se sabe que son falsos (por ejemplo, el supuesto de que la Tierra es plana, o el de que es perfectamente esférica). Cuando los teoremas se someten a contrastaciones empíricas, surge antes o después una discrepancia con los resultados de las contrastaciones; la discrepancia aparece tanto más pronto cuanto más finas son las técnicas empíricas. Y esa discrepancia obligará al teórico a complicar gradualmente el cuadro teorético, o incluso a tomar otra vez un punto de partida completamente nuevo. Pero la teoría perfeccionada y más complicada no dejará tampoco de referirse a un modelo ideal, igual que la teoría anterior. Esto es inevitable, porque las teorías son sistemas conceptuales, no haces de experiencias.

Como no puede haber teoría perfecta, debemos intentar construir teorías cada vez mejores, o sea, contribuir al progreso teorético, lo cual sería imposible si la perfécción fuera alcanzable. Ahora bien: una condición para poder averiguar si una teoría constituye un perfeccionamiento respecto de alguna otra es disponer de algunos cánones o criterios de la construcción de teorías y de su estimación. En las siguientes secciones estudiaremos los requisitos de una buena teoría científica; y dejaremos para el capítulo 15 los criterios de estimación de las teorías.

Problemas

7.1.1. Resumir una teoría científica expuesta en algún manual científico y puntualizar (*i*) sus referentes, (*ii*) sus supuestos básicos (axiomas) y (*iii*) su dominio de validez.

7.1.2. Una *doctrina* es un conjunto de creencias que se enseñan como verdaderas y del que no se supone que vaya a cambiar sustancialmente a la luz de experiencia nueva. Además, etimológicamente 'doctrina' significa lo que se enseña, no lo que se elabora y se somete a contrastación. (*i*) ¿Qué rasgos tienen en común las doctrinas y las teorías científicas, y en qué se distinguen? (*ii*) Frecuentemente hay discusiones infinitas sobre las doctrinas: ¿puede ocurrir lo mismo con las teorías? *Problema en lugar de ése*: ¿Cuál es la diferencia específica entre la teorización científica y otros tipos de búsqueda de la unidad en la diversidad?

7.1.3. ¿Por qué fracasaron los alquimistas en la empresa de transformar los metales "básicos" en oro, y por qué han tenido éxito los físicos nucleares en la misma tarea? ¿Fue porque los primeros no habían hecho observaciones suficientes, o porque no se preocuparon por construir una teoría contrastable del mecanismo de transmutación? Consultar alguna historia de la ciencia. Indicación: ser cuidadoso en el estudio, porque la mayoría de las historias de la ciencia presuponen que las ideas desarrollan un papel muy modesto en la ciencia.

7.1.4. ¿Cómo y cuándo nacieron los siguientes modos de pensar? (*i*) La consideración del universo entero como un sistema puramente físico que se sostiene a sí mismo. (*ii*) La considera-

ción de los organismos como sistemas físicos. (*iii*) La consideración de los procesos mentales como procesos cerebrales. (*iv*) La búsqueda de determinantes económicos de las estructuras sociales. (*v*) El método de pensar en base a conceptos estadísticos en vez de individuales. (*vi*) El pensar a base de la idea de conjunto. (*vii*) La búsqueda de variables cuantitativas.

7.1.5. Considerar (*i*) un conjunto de datos, como los que se ofrecen en una guía telefónica; (*ii*) un conjunto de proposiciones de cualquier nivel, relacionadas por conectivas lógicas simétricas como '*y*' u '*o*'; (*iii*) la hipótesis de los gestaltistas, según la cual el aprendizaje procede por iluminaciones repentinas de la comprensión y es muy independiente de la experiencia previa; (*iv*) una constitución. ¿Cuál de esos objetos –si lo es alguno de ellos– puede considerarse como una teoría, y por qué?

7.1.6. Dilucidar los conceptos de punto de vista, planteamiento y concepción en relación con el concepto de teoría. *Problema en lugar de ése*: ¿Qué es antes, la teoría o los datos? Precaución: examinar la cuestión misma, por si puede basarse en algún supuesto no asegurado.

7.1.7. Indicar casos de pasión antiteorética dominante en alguna disciplina. Indicación: manejar volúmenes recientes de revistas científicas y explicitar algunas raíces de esa actitud. Cf., por ejemplo, B. F. Skinner, "Are Theories of Learning Necessary?", *Psychological Review*, *57*, 193, 1950, artículo en el cual se critica la teorización psicológica como tal incluso en la psicología fisiológica, y se caracteriza un "programa científico aceptable" mediante la recolección de datos (hallazgo de variables relevantes manipulables y, en algunos casos, establecimiento de sus relaciones, o sea, de generalizaciones empíricas). Por lo que hace al punto de vista contrario, según el cual el hacer algo sin una teoría no es experimentar científicamente, sino "mero moverse", cf. K. M. Dallenbach, "The Place of Theory in Science", *Psychological Review*, *60*, 33, 1953; R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, cap. II, Glencoe, IL, Free Press, 1959. *Problema en lugar de ése*: Los físicos suelen dividirse en experimentadores y teóricos. ¿Por qué no es corriente esa división en otras ciencias?

7.1.8. T. Parsons propuso una tipología de las acciones humanas, un "marco de referencia de la acción", descrito por él como "un esquema conceptual lógicamente articulado" En esa doctrina no aparecen variables medibles ni fórmulas legaliformes propiamente dichas; además, la doctrina no pretende tratar los hechos reales, sino que se presenta como "un marco lógico para describir y pensar los fenómenos de acción" ¿Puede considerarse ese trabajo como una teoría sociológica? Cf. T. Parsons y E. Shils, *Towards a General Theory of Action*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1951. Crítica en M. Black (ed.), *The Social Theories of Talcott Parsons: A Critical Examination*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1961.

7.1.9. La teoría de las decisiones, la teoría de juegos y otras teorías modernas del comportamiento humano aparecen a menudo descritas como *normativas* o prescriptivas, y no como *descriptivas*, porque no representan el comportamiento efectivo, sino un comportamiento idealmente correcto en determinadas áreas, al modo como la lógica, que establece criterios de la inferencia deductiva, no da razón del razonamiento real de cada caso, problema que se reserva a la psicología del pensamiento. ¿Es correcta la inferencia que pasa de '*x* describe un modelo ideal' a '*x* es normativa'? *Problema en lugar de ése*: ¿En qué medida puede decirse que las teorías factuales son descriptivas?

7.1.10. Una entidad es, por definición, un existente real. Y algo teorético es por definición no-real. ¿Está justificado entonces el hablar de *entidades teoréticas* y el subsiguiente preguntar si existen? En caso negativo, búsquese un nombre mas adecuado. *Problema en lugar de ése*: La idea de que la teoría científica no es más que una racionalización a posteriori de los datos empíricos se popularizó por F. Bacon en su *Novum Organum* de 1620, o sea, antes de que la ciencia moderna produjera teorías propiamente dichas. ¿A qué se debe el que esa filosofía de una ciencia preteorética siga a menudo considerándose como esencialmente correcta?

7.2. LA UNIDAD CONCEPTUAL

Una teoría científica es un sistema de hipótesis que se supone da una explicación aproximada de un sector de la realidad. En este momento tenemos que subrayar que una teoría es un sistema, o sea, un cuerpo unitario, y no simplemente un conjunto de fórmulas. Cf. fig. 7.3. Ahora bien: la sistematicidad o unidad de las teorías científicas es formal (sintáctica) y material (semántica).

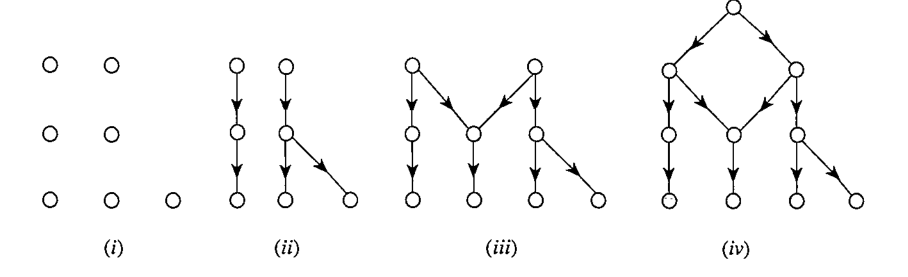


FIGURA 7.3. Diferentes grados de sistematicidad de un conjunto de fórmulas. (*i*) Un conjunto de fórmulas inconexas (sin sistematicidad). (*ii*) Dos sistemas interrelatados. (*iii*) y (*iv*) Sistemas.

La *unidad formal* de una teoría científica consiste en la existencia de relaciones lógicas entre las fórmulas de la teoría, de tal modo que ninguna fórmula quede aislada. Brevemente: la unidad formal de una teoría consiste en ser un sistema hipotético deductivo, o sea, un cuerpo cuyas partes son o bien hipótesis iniciales o bien consecuencias de ellas. En cambio, lo que puede llamarse *unidad material* de una teoría científica requiere una referencia común de sus partes, la cual se refleja en la recurrencia importante de ciertos conceptos clave. Esos conceptos están distribuidos entre las fórmulas de la teoría, de tal modo que ningún concepto específico de ella quede aislado de los demás. Así, por ejemplo, en una teoría de los electrones todas las variables refieren a electrones y a las cosas (por ejemplo, campos externos) que pueden influir en el comportamiento de los electrones –no a puentes, por tanto, ni a expectativas humanas–; y las hipótesis de la teoría no son sino relaciones entre esas variables. La referencia a objetos *externos* –o, más bien, a objetos supuestos reales *ex hypothesi*– hace posible la objetividad de las teorías, aunque no basta para ello. Y la unidad de referencia, o sea, la referencia a *un solo conjunto de objetos*, da a la teoría factual su unidad conceptual o, como también podemos decir, su *consistencia semántica*. Dicho de otro modo: toda teoría no-lógica lo es de cierto conjunto no vacío el cual, lejos de ser una colección arbitraria, se caracteriza por ciertas propiedades interrelacionadas. A las teorías lógicas no se les impone ninguna de estas condiciones de unicidad y existencia.

Antes de tratar la consistencia sintáctica hay que considerar la semántica. Pues antes de intentar establecer relaciones deductivas entre algunas de las fórmulas de un conjunto hay que averiguar si tales relaciones son posibles, y esa posibilidad depende de ciertas propiedades semánticas. Ante todo y fundamentalmente depende de una referencia co-

mún a un dado *universo del discurso* o *conjunto de referencia.* Esto puede quedar en claro mediante el siguiente contraejemplo. Consideremos las fórmulas:

Para todo x en U, Px; o sea: $(x)\,(x \in U \rightarrow Px)$; o, más brevemente: $(x)_U Px$.
Para algún x en V, Qx; o sea $(\exists x)\,(x \in V\,\&\,Qx)$; o, más brevemente: $(\exists x)_V Qx$.

Esas fórmulas expresan ciertas propiedades de los miembros de dos conjuntos diferentes, U y V, y no dicen nada acerca de las relaciones entre esos conjuntos. U, puede ser, por ejemplo, el conjunto de los unicornios, y V el conjunto de las voliciones. Mientras no añadamos una tercera fórmula que diga, por ejemplo, que V es parte de U, o a la inversa, no podremos estipular que las anteriores fórmulas lo son de una misma teoría, y ello simplemente porque no podremos combinarlas para deducir alguna consecuencia de ellas.

Así pues, hace falta un *común universo del discurso* o conjunto de referencia para establecer relaciones lógicas entre los miembros de un conjunto de fórmulas, en matemática o en física. (El hecho de que en el caso de las teorías abstractas, como el álgebra booleana y la teoría de grupos, o semiabstractas, como la teoría de conjuntos, no se especifique la naturaleza de los elementos del conjunto de referencia, o básico, no implica que el conjunto de referencia mismo no esté ya anticipadamente fijado. Y cuando no se indica el universo del discurso, se entiende que es un conjunto cualquiera, como en el caso de la teoría de la identidad, que vale para todo conjunto imaginable.)

Otro factor de la consistencia semántica es la condición de que los predicados de la teoría concuerdan en significación, o sea, que *pertenezcan a la misma familia semántica.* También podemos decir que los predicados de una teoría tienen que ser *semánticamente homogéneos.* Esta condición excluye automáticamente de las teorías científicas enunciados como "Los imanes son amables", la cual es sintácticamente consistente, pero no lo es semánticamente, porque mezcla predicados heterogéneos. La exigencia de homogeneidad semántica se aplica también, desde luego, a conjuntos de fórmulas cada una de las cuales es sintáctica y semánticamente consistente. Por ejemplo, "Todo Olimpo refleja relaciones propias al grupo humano que lo produce" y "Hay infinitos números primos", son cada una de ellas sintáctica y semánticamente consistentes, pero tomadas juntas constituyen un conjunto sin homogeneidad semántica, y no pueden, por tanto, considerarse como parte de una misma teoría.

La exigencia de homogeneidad semántica es más fácil de ejemplificar que de formular. Por eso habrá casos límite en los cuales no será fácil decidir si la heterogeneidad semántica es un simple resultado de falta de comprensión de una unidad subyacente más profunda: en última instancia, las teorías interdisciplinarias, como la bioquímica y la psicología social, han nacido por el hecho de haber unido conceptos que inicialmente pertenecían a diferentes familias semánticas. En consecuencia, el requisito de homogeneidad semántica tiene que considerarse como una guía grosera y falible. La decisión última sobre la homogeneidad o la heterogeneidad semánticas de un conjunto de predicados se basará en la existencia o inexistencia de teorías verosímiles en las que los conceptos aparezcan correlatados, y no en consideraciones semánticas puras. Sea de ello lo que fuere, el requisito de homogeneidad semántica refleja y consagra la multiplicidad y la separación de las teorías, y esto, a su vez, parece corresponder de algún modo a la independencia relativa

entre los varios aspectos del mundo. Si la realidad fuera un sólido bloque (monismo radical) o un montón de entidades totalmente heterogéneas (pluralismo radical), no sería posible agrupar propiedades en familias sin conexión o, a lo sumo, laxamente relacionadas.

Una tercera condición de la consistencia semántica es que los predicados de la teoría sean todos y sólo los que se presentan en los supuestos iniciales y en las definiciones. Llamaremos a esto la condición de *cierre semántico.* Esta condición apunta a impedir la introducción de contrabando de predicados externos al campo cubierto por la teoría, y que a veces se introducen de ese modo al nivel de los teoremas. El cierre semántico excluye la doble interpretación de un mismo símbolo que se presente en una determinada teoría –como ocurre con la distinción artificial entre masa inerte y masa gravitatoria (cf. problema 7.2.10). Más tarde (sec. 5) veremos que parte de la confusión relativa a los fundamentos de la teoría de los quanta tiene sus raíces en una violación de la condición de cierre semántico.

Si no fuera por el requisito de cierre semántico podríamos tener la tentación de proceder del siguiente modo. Supongamos que construimos una teoría, la sometemos a contrastaciones empíricas y hallamos que no las supera. Podemos intentar salvar la teoría añadiéndole supuestos *ad hoc* que contengan, por ejemplo, un predicado que designe una propiedad antes no tenida en cuenta, pero que elimina cómodamente el resultado desfavorable. Esto puede hacerse añadiendo la nueva hipótesis al conjunto de postulados, o cambiando el teorema inadecuado, t, por otro enunciado más débil pero empíricamente confirmado, $t \vee u$, en el cual u es precisamente la hipótesis *ad hoc.* (Una tal transformación es lógicamente legítima: t implica $t \vee u$, siendo u un enunciado cualquiera.) El añadido de la hipótesis *ad hoc* a los axiomas de la teoría puede rechazarse si el nuevo supuesto no tiene consecuencias contrastables independientes (cf. sec. 5.6). O sea, el truco produciría una nueva teoría diferente que podría abandonarse porque uno de sus supuestos no tiene más función que la de proteger los demás axiomas. Pero la segunda maniobra, que consiste en utilizar la regla de adición para sustituir el teorema falso t por el teorema trivialmente verdadero $t \vee u$, en el que 'u' puede ser expresión de "Londres es la capital de la Gran Bretaña", no puede evitarse por el simple recurso a la contrastabilidad. El principio de cierre semántico impide esa maniobra. Pero no impide la adición de un enunciado formado con predicados emparentados con la teoría y que no se deriva de los supuestos iniciales de ésta. Sólo la unidad formal (sistematicidad) puede evitar esta última posibilidad.

La condición de cierre semántico no prohíbe la *exportación* de conceptos introducidos por una teoría dada: el cierre, igual que una membrana semipermeable, trabaja sólo en una dirección, impidiendo la entrada de conceptos nuevos una vez formulada la teoría, con objeto de evitar el constante reajuste de ésta a los datos o a tesis filosóficas. La difusión de conceptos básicos por toda la ciencia –proceso que refuerza la integración del conocimiento científico– no se ve en cambio obstaculizada por el principio.

Un cuarto factor de la consistencia semántica es el requisito de que los conceptos clave de la teoría estén conectados: llamaremos a eso la condición de *conexión conceptual.* Dicho de otro modo: los conceptos primitivos (o indefinidos) de la teoría tienen que distribuirse de un modo u otro entre los axiomas, de tal modo que éstos puedan ensamblarse (cf. fig. 7.4). Más precisamente, diremos que un conjunto de axiomas es *conceptualmente*

conexo si y sólo si todo par de axiomas del conjunto tiene al menos un concepto primitivo en común. Si no hay ensamblamiento de los conceptos primitivos (conexión conceptual), no hay ensamblamiento de los axiomas y si no hay ensamblamiento de los axiomas, no hay relación de deducibilidad; y si no hay deducibilidad, no hay sistema.

Axioma 1 C_1 —— C_2	Axioma 1' C_1 —— C_2
Axioma 2 C_3 —— C_4	Axioma 2' C_2 —— C_3

FIGURA 7.4. (*i*) Los axiomas 1 y 2 no constituyen juntos una teoría porque los cuatro conceptos primitivos C_1 a C_4 no están distribuidos entre ellos. (*ii*) Los axiomas 1' y 2' satisfacen la condición de conexión conceptual: uno de los tres conceptos primitivos, C_2, es común a los dos axiomas.

La propiedad de conexión conceptual está relacionada con la condición del conjunto de referencia común (primer requisito), pero no es idéntica con ella. En efecto: explicitando las variables individuales de un conjunto de fórmulas podemos mostrar que tienen una en común, por ejemplo, que todas contienen el término 'cuerpo'. Pero algunas de las fórmulas pueden referirse a propiedades mecánicas de los cuerpos, otras al coste de su producción, etc. Una clase de referencia común es necesaria, pero no suficiente, para asegurar la conexión conceptual. Y, a su vez, la conexión conceptual no garantiza la comunidad de universo del discurso. Así, por ejemplo, "Los gatos son independientes" y "Cuanto más independiente es una persona menos adaptada está" tienen en común el predicado 'es independiente'; pero el conjunto de referencia de la primera proposición es la clase de los gatos, mientras que el segundo enunciado refiere a personas.

Es deseable, pero no obligado, que los axiomas de una teoría sean independientes al nivel proposicional, en el sentido de que no sean indeterdeducibles (cf. sec. 6). Pero si los axiomas fueran también independientes al nivel conceptual, o sea, si ningún par de axiomas de la "teoría" tuviera conceptos primitivos en común, no sería posible ninguna deducción. La conexión conceptual es, pues, necesaria para la derivabilidad, la cual es naturalmente esencial para disponer de una teoría. La conexión conceptual es deseable para el conjunto de todas las teorías científicas de un campo determinado –por ejemplo, la psicología–, porque posibilita su enriquecimiento, su control y su apoyo recíproco. Además, la conexión conceptual del todo de la ciencia factual es un objetivo deseable en un sentido más general, aunque no puede exigirse a las teorías de que normalmente disponemos. La química se convirtió en una ciencia cuando estableció contacto con la física al importar de ella los conceptos básicos de masa y átomo, y la psicología se convirtió en una ciencia cuando tomó conceptos de la fisiología. Pero el desideratum de la conexión conceptual no debe exagerarse hasta el punto de excluir de la ciencia todos los conceptos específicos que no sean exportables de una ciencia a otra, o hasta el extremo de no usar más que conceptos genéricos como "objeto", "determina", "cambio".

Tenemos, en suma, cuatro factores de unidad conceptual, o consistencia semántica, cuya presencia conjunta es necesaria, pero no suficiente, para contar con sistemas hipotético-deductivos, o sea, con teorías. Esos factores son: (*i*) unicidad del universo del dis-

curso o conjunto de referencia, generalmente indicado por el nombre de la teoría (por ejemplo, Dinámica del Cuerpo Rígido), aunque puede pasarse por alto al establecer la lista de los conceptos primitivos; (*ii*) homogeneidad semántica (de los predicados), o sea, pertenencia a la misma familia semántica, condición típicamente violada por las teorías extravagantes; (*iii*) cierre semántico, o prohibición de introducir oportunísticamente predicados nuevos, a menos de dejar en claro que se está proponiendo una nueva teoría; (*iv*) conexión conceptual, o distribución de los predicados entre las fórmulas.

Puede preguntarse si la consistencia semántica o unidad conceptual de una teoría o grupo de teorías es simplemente una propiedad lógica o refleja en alguna manera una unidad objetivamente existente, por ejemplo, una interconexión física. El siguiente ejemplo mostrará que la consistencia semántica o unidad conceptual no refleja necesariamente una unidad física. Sean x e y las variables numéricas de conceptos cuantitativos cada uno de los cuales representa una propiedad física de una clase de sistemas; supongamos además que ambas dependen de una tercera variable, t, que se considerará como variable independiente y puede identificarse con el tiempo. Consideremos ahora el par de ecuaciones

$$x = f(t), \qquad y = g(t)$$

Este par satisface las cuatro condiciones de la consistencia semántica: refiere a una determinada clase de sistemas, las tres variables son semánticamente homogéneas (son las tres variables físicas), no se ha permitido que ninguna variable nueva descienda sobre ellas como un *deux ex machina* y, por último, una de ellas, t, es común a las dos fórmulas. Sin embargo, ese conjunto de fórmulas puede no representar un sistema concreto (por ejemplo, un átomo o una economía), porque x e y no se determinan la una a la otra: efectivamente, los valores que tome x serán independientes de los que tome y, y a la inversa; x e y discurren paralelamente. De esto inferimos que la unidad conceptual no refleja necesariamente una sistematicidad física, o sea, que no es una condición suficiente de la unidad física. En cambio, un sistema de ecuaciones como

$$ax + by = f(t), \qquad cx + dy = g(t)$$

representa un sistema físico si las variables incluidas representan por su parte propiedades físicas de sistemas de una determinada clase, porque en este caso x, y y t se determinan unas a otras. (Este ejemplo muestra, dicho sea de paso, que aunque la forma no determina el contenido, tiene que concordar con él.)

Hemos visto que la unidad conceptual es necesaria para asegurar la unidad formal y la deducibilidad; pero que no es suficiente. Para que se pueda deducir algo de las premisas iniciales, éstas tienen que ser *precisas* y *ricas.* No se puede deducir nada sin ambigüedad partiendo de premisas imprecisas: la imprecisión es el homólogo semántico de la contradicción, en el sentido de que una y otra llevan a una indeseable proliferación de consecuencias. Y a partir de axiomas pobres no se puede inferir sino poca cosa o nada.

Así, por ejemplo, no se puede construir ninguna geometría a partir de supuestos como "El espacio es insondable", "El espacio es una forma de existencia", o "El espacio es el sensorio divino": son proposiciones demasiado imprecisas. En cambio, una modesta fór-

mula que dé la distancia entre dos puntos cualesquiera sí que es un buen candidato a axioma geométrico, a causa de su precisión y de su riqueza. Tampoco son axiomas los enunciados negativos –aunque pueden aparecer como teoremas–, y ello por la misma razón: una proposición negativa es demasiado indeterminada y, consiguientemente, poco contrastable. En cambio, una proposición afirmativa expresa un compromiso muy concreto del que la afirma y, si tiene significación factual, orienta a buscar en el mundo de los hechos el referente que pueda apoyarla o destruirla. Análogamente, una proposición como "El universo tiene el mismo aspecto siempre y en todas partes" es inútil para axioma de la cosmología, no sólo porque es más bien vaga, sino, además, porque es pobre: de hecho no es mucho más que una generalización (precipitada) de registros de observaciones. Los axiomas de la ciencia factual no son generalizaciones empíricas, sino enunciados de nivel alto que, lejos de limitarse a resumir datos, pueden explicar los datos y las generalizaciones de registros de observaciones.

Para garantizar la precisión es suficiente, aunque no estrictamente necesario, utilizar conceptos cuantitativos, como la longitud y la densidad de población. Y para garantizar la riqueza de los axiomas tendemos a maximalizar (*i*) el *campo de las variables*, o sea, el dominio abarcado por los cuantificadores lógicos; (*ii*) la *extensión* de los conceptos, y (*iii*) el *grado de abstracción* de los conceptos. Es obvia la efectividad del primer expediente: cuanto mayor sea el campo de una fórmula, tantos más casos quedan subsumidos por ella. Ahora bien, entre dos fórmulas con el mismo grado de generalidad –por ejemplo, dos enunciados universales–, la más rica será la que contenga los conceptos más generales. (Sobre generalidad de conceptos cf. sec. 2.3.) Así, por ejemplo, "Los hombres se reproducen a sí mismos", "Los mamíferos se reproducen a sí mismos", "Los vertebrados se reproducen a sí mismos" y "Los organismos se reproducen a sí mismos", son todas proposiciones universales, pero de riqueza creciente, porque la extensión "organismo" incluye la de "vertebrado", la de éste incluye la de "mamífero", y esta última extensión incluye a su vez la de "hombre". Al mismo tiempo, esos conceptos se encuentran ordenados respecto de la complejidad epistemológica o grado de abstracción: interpretando '<' como "menos abstracto que", podemos escribir

"hombre" < "mamífero" < "vertebrado" < "organismo"

Es comprensible, por dos razones, que la abstracción, o alejamiento de la experiencia inmediata, sea una fuente de riqueza para las premisas de una teoría y, por tanto, deseable. En primer lugar, si deseamos construir teorías ricas tenemos que elegir conceptos básicos que tengan *muchas relaciones* los unos con los otros, de tal modo que puedan presentarse en muchas fórmulas. Y los conceptos abstractos y extensos, como "organismo", cumplen esta condición mejor que términos concretos y singulares como 'leal'. En segundo lugar, si deseamos explicar la experiencia tenemos que *levantarnos por encima de ella*, analizándola a base de conceptos no experienciales. Podemos derivar hipótesis sobre cuerpos coloreados partiendo de hipótesis que contemplen moléculas sin color, pero no a la inversa. Por tanto, un predicado fenoménico como 'rojo' no se presentará como concepto primitivo en la química, la cual necesita en cambio construcciones hipotéticas como "átomo" entre sus conceptos primitivos. Cuanto más cercano a la experiencia es un

concepto, tanto menos apto es para entrar en los axiomas de una teoría. Ésta es una de las razones que explican por qué las teorías no están "abstraídas" de la observación. Otra razón explicativa de ese mismo hecho es que la ciencia, especialmente la física, nos enseña que los hechos de experiencia, los acontecimientos observables, son resultados macroscópicos de decenas de miles de acontecimientos microscópicos (y, por tanto, trasempíricos). Consiguientemente, la importante distinción entre propiedades primarias (físicas, objetivas) y propiedades secundarias (fenoménicas, centradas en el sujeto) no es arbitraria, y la explicación de las propiedades secundarias por las primarias arraiga en la estructura del mundo.

El carácter epistemológicamente abstracto de los conceptos básicos o primitivos de las teorías científicas es una razón de que las fórmulas de nivel bajo, como las generalizaciones empíricas, se "descubran" generalmente antes que los axiomas de los cuales pueden luego derivarse. Es, en efecto, un hecho histórico –o, más propiamente, una generalización de observaciones sobre la historia intelectual– que, considerado el proceso en grandes lapsos de tiempo, los teoremas aparecen antes que los axiomas, aunque los axiomas son lógicamente anteriores a los teoremas. La vía histórica ha sido casi siempre como sigue: (*i*) establecimiento de generalizaciones de bajo nivel (futuros teoremas); (*ii*) generalización de las anteriores (o sea, generalización de teoremas particulares); (*iii*) "descubrimiento" de relaciones lógicas entre teoremas conocidos; (*iv*) "descubrimiento" de que algunos de ellos pueden servir como axiomas, o invención de premisas de nivel más alto a partir de las cuales pueda derivarse el cuerpo del conocimiento disponible; (*v*) sistematización del cuerpo de conocimiento en cuestión, o sea, axiomatización (plena o parcial) y formalización en su caso. Los dos últimos estadios, la axiomatización y la formalización (cf. sección 8.3), no se alcanzan fácilmente en la ciencia factual, en parte por causa de la presión de nuevos problemas sustantivos, y en parte porque se subestima la importancia de la axiomatización y la formalización, tal vez por no darse cuenta de que un pensamiento claro acerca de hechos conocidos y viejas ideas no es inferior al pensamiento confuso sobre el descubrimiento más reciente.

La tendencia histórica, que va de lo particular a lo general y de lo concreto y empírico a lo trasempírico, es exactamente la inversa del orden lógico. He aquí una primera consecuencia: los especialistas del análisis lógico de los resultados últimos de la investigación no suelen tener sensibilidad para captar la elaboración real de la ciencia y, a la inversa, los historiadores de la ciencia son pocas veces conscientes de las peculiaridades lógicas y epistemológicas de las teorías científicas. Otra consecuencia: los axiomas, contra lo que creía la tradición aristotélica, no son más autoevidentes que la mayoría de los teoremas que implican, sino mucho menos que éstos. Por culpa de esa tradición se usa abusivamente 'axiomático' como sinónimo de 'autoevidente'. Quien sienta la menor duda acerca de lo que acaba de decirse la superará echando una mirada a los axiomas o supuestos básicos de cualquier teoría progresada actual. He aquí una tercera consecuencia: en el proceso de construcción de la teoría científica la búsqueda de axiomas tiene principalmente –pero no únicamente– el control de las hipótesis disponibles de bajo nivel, las cuales tienen que quedar implicadas, al menos aproximadamente, por los axiomas. Sólo las teorías matemáticas abstractas se construyen frecuentemente sin fórmulas más débiles preexistentes; pero incluso en este caso las fórmulas ya conocidas actúan como moti-

vaciones o como controles de las más fuertes. No obstante, los fines no suministran medios: las hipótesis de bajo nivel que tiene que dar de sí la teoría no pueden sugerir inequívocamente los axiomas. Siempre hay que inventar los axiomas; no son creaciones *libres*, porque se encuentran bajo el control de las hipótesis de nivel inferior, pero son sin duda *creaciones*.

En resolución: los conceptos primitivos de una teoría científica tienen que ser tan precisos y tan ricos cuanto sea posible, y las fórmulas primitivas (axiomas) de la teoría tienen que ser semánticamente consistentes, es decir, deben constituir un todo conceptual unificado. Ahora podemos estudiar la forma lógica o estructura de las teorías.

Problemas

7.2.1. Examinar la regla según la cual los axiomas de una ciencia son autoevidentes. ¿Es coherente esta exigencia con el programa de explicar lo experienciable sobre la base de lo que no lo es, pero se supone ocurre objetivamente?

7.2.2. Si los axiomas de una teoría no tienen por qué ser autoevidentes ¿pueden ser arbitrarios? Dicho de otro modo: ¿No está determinada por nada (es indeterminada) la elección de los axiomas, como no sea, acaso, por el gusto?

7.2.3. Examinar la caracterización de los axiomas como verdades iniciales. ¿Es correcta esa caracterización respecto de (*i*) la ciencia formal y (*ii*) la ciencia factual?

7.2.4. Examinar la difundida opinión de que los conceptos primitivos de una teoría tienen que ser conceptos bien entendidos, a ser posible tomados del conocimiento ordinario, como sería el caso de los conceptos de espacio y tiempo. *Problema en lugar de ése*: Examinar la regla según la cual los conceptos primitivos de una teoría deben ser conceptos definidos observacionalmente y, en particular, "operativa" u operacionalmente. (Sobre "definiciones" operacionales cf. sec. 3.6).

7.2.5. ¿Es deseable, o posible al menos, para una teoría científica dada el ser una "isla en sí misma"? Y, pasando al otro extremo: ¿es deseable, o al menos posible, una teoría científica universal, una teoría científica de la realidad que sirva para todos los fines?

7.2.6. Si no existieran más que fenómenos (hechos observables), o sea, si el mundo no estuviera en gran parte oculto a los sentidos, ¿seguiríamos utilizando conceptos trasempíricos? Dicho de otro modo: las construcciones teoréticas, ¿son necesarias sólo porque hay entidades imperceptibles (por ejemplo, atómicas), o por alguna otra razón además?

7.2.7. Dilucidar ulteriormente el concepto de conexión conceptual de una teoría, concepto esbozado en el texto. *Problema en lugar de ése*: ¿Cómo se relaciona la unidad conceptual con el papel de la parsimonia en la introducción de hipótesis *ad hoc*? Recordar la sección 5.6.

7.2.8. Tomar cualquier par de variables dependientes del tiempo, como la intensidad de la luz y el producto de la cosecha. Puede eliminarse el tiempo entre las dos relaciones para conseguir una relación directa entre las dos variables. ¿Representará eso un sistema? *Problema en lugar de ése*: Formular las tesis del monismo y el pluralismo sobre la base del concepto de familias de predicados semánticamente homogéneos. Sobre el monismo y el pluralismo cf., por ejemplo, W. James, *Essays in Radical Empiricism*, y *A Pluralistic Universe*, 1909; Nueva York, Longmans, Green, 1958.

7.2.9. Dilucidar el concepto de riqueza de una proposición y relacionarlo con el concepto de fuerza lógica tratado en la sección 5.7. Tener en cuenta que mientras que la fuerza lógica es una propiedad sintáctica (o sea, formal), la riqueza es tanto sintáctica cuanto semántica.

7.2.10. La mecánica newtoniana y la teoría de la gravitación utilizan un solo concepto de masa;

pero la masa se presenta en algunos términos de las ecuaciones como coeficiente de aceleración, y en otros como factor de la fuerza gravitatoria. Por ejemplo, la ecuación del movimiento de un cuerpo que se mueve en un campo gravitatorio homogéneo de intensidad g es:

$$ma = mg,$$

mientras que, si el campo es eléctrico, la ley es:

$$ma = eE.$$

En el primer caso eliminamos m y simplificamos para obtener: $a = g$. Esta operación, típica para el campo gravitatorio, no es posible en el segundo caso. Esta circunstancia sugirió a E. Mach la idea de que hay realmente dos clases de masa: la *masa inerte* (que se presenta como un coeficiente de la aceleración) y la *masa gravitatoria* (que se presenta como un factor de la fuerza gravitatoria). Pero la distinción no aparece ni en la teoría clásica de la gravitación ni en la relativista. La exige, sin embargo, el operativismo, y por eso se recoge en los libros de texto. En efecto: hay esencialmente dos clases de procedimientos para *medir* los valores de las masas; el uno no utiliza la gravitación (por ejemplo, escalas de muelles) y el otro sí (escalas de pesos). ¿Está de acuerdo la distinción entre los dos tipos de masas con la condición de cierre semántico? *Problema en lugar de ése*: Dilucidar el concepto de *teoría no trivial* sobre la base de las clases de objeto (universo del discurso) y de los problemas que puede tratar una teoría. Recordar la historia del prometedor matemático que gastó años en la construcción de una complicada teoría matemática sin preguntarse siquiera a qué podía referirse (aplicarse). Al final alguien descubrió que la teoría en cuestión no se aplicaba sino a (no era satisfecha más que por) constantes, o sea, por el tipo más trivial de funciones. Adivinar lo que ocurrió. Y tener también en cuenta que, en principio, todo campo de hechos –por ejemplo, el fútbol– puede convertirse en tema de una teoría.

7.3. DEDUCIBILIDAD

Para estudiar la relación de deducibilidad es conveniente atender a cómo funciona en las teorías axiomáticas, porque éstas son las mejor organizadas. Una *teoría axiomática* puede representarse como un tejido que cuelga de sus supuestos iniciales (cf. fig. 7.1). Estos supuestos son un manojo de fórmulas relativamente ricas y precisas (proposiciones y/o funciones proposicionales), llamadas axiomas o postulados, que satisfacen la condición de unidad conceptual (cf. 7.2). Por debajo de los axiomas se encuentran todas las demás hipótesis de la teoría; que se llaman teoremas de la misma aunque ésta tenga contenido factual, pues el término 'teorema', igual que el término 'axioma', indica un estatuto lógico con independencia del contenido.

En una teoría completamente axiomatizada todos los teoremas pueden derivarse de los supuestos iniciales por medios puramente formales (lógicos o matemáticos), o sea, mediante la aplicación de las reglas de la inferencia deductiva. Dicho de otro modo: dados los axiomas de la teoría y las reglas de inferencia presupuestas por la teoría (o sea, los subyacentes sistemas de lógica y matemática), todos los teoremas quedan unívocamente

determinados, aunque ninguno de ellos se haya derivado aún efectivamente. La predeterminación lógica es la única efectiva, y es peculiar a las teorías axiomáticas.

En la ciencia formal un *axioma* o postulado es un supuesto no demostrado cuya función consiste en permitir la demostración de otras fórmulas de la teoría. En la ciencia factual un axioma es también una fórmula sin demostrar y sirve para demostrar otros enunciados, pero su introducción está justificada en la medida en que esos otros enunciados (las teorías) quedan convalidados de un modo u otro por la experiencia. La tarea más ambiciosa que puede plantearse un teórico es la de inventar un conjunto axiomático para cubrir totalmente un campo dado de conocimiento. (Otra cuestión es la de si ese objetivo puede alcanzarse íntegramente.) Ninguna acumulación de datos observacionales, por enorme que sea, le solucionará esa tarea: la información empírica es precisamente lo que él desea explicar, y, por tanto, aunque funcionará como estímulo y como control de la construcción de teorías, no podrá ser nunca ni su fuente ni siquiera su guía (cf. sec. 7.2). Todo lo que puede hacer el teórico para inventar una buena teoría es explotar al máximo lo que le suministre su herencia genética y cultural (cf. sec. 8.1, que amplía esto).

Una vez establecidos los axiomas de la teoría, el teórico puede (*i*) derivar de ellos nuevos teoremas, o (*ii*) establecer conexiones con otros campos de la investigación, o (*iii*) intentar modificar algunos de los axiomas, con objeto de obtener un sistema más compacto, o más económico, o más rico; o bien puede (*iv*) intentar especificar la significación factual y/o empírica de los axiomas, si la tienen. A la inversa, dado un conjunto de resultados parciales más o menos inconexos de la investigación (como, por ejemplo, las varias generalizaciones referentes a la estructura nuclear, antes de introducirse el modelo actual), la tarea del teórico consistirá en introducir (inventar) una base axiomática a partir de la cual aquellos resultados puedan derivarse, o sea, convertirse en teoremas. Una vez inventada una tal base, puede esperarse que resulten derivables nuevas proposiciones antes desconocidas. (Si los axiomas existieran por sí mismos en un platónico reino de las ideas, o si cualquier fórmula sugiriera por sí misma el conjunto de postulados a partir del cual puede derivarse, podríamos hablar de *descubrimiento* de axiomas. Pero como los axiomas no están ya confeccionados y listos para llevar, ni están nunca unívocamente determinados por las preexistentes fórmulas de nivel inferior, no debemos vacilar en hablar de *invención* o *creación* de axiomas.)

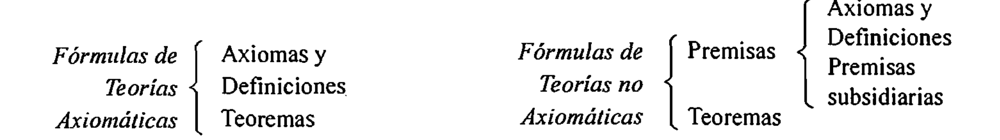
En toda teoría puede apreciarse un grupo de axiomas o fórmulas del nivel más alto, pero no toda teoría es axiomática, autocontenida. Por de pronto, ninguna teoría factual es plenamente axiomática y, como veremos dentro de poco, la axiomatización no agota el contenido de una teoría factual. La razón de esa imposibilidad es que las teorías factuales tienen que ser *abiertas a la experiencia.* Más precisamente: las teorías factuales no pueden prescindir de proposiciones singulares (datos) que no se encuentran entre los axiomas ni son lógicamente derivables de ellos. Y no serviría para nada el colocar esa información empírica entre los axiomas de la teoría: primero, porque no implican nada interesante; segundo, porque los datos constituyen un *conjunto abierto*, y, por así decirlo, un conjunto vivo, puesto que crece y se mantiene joven mediante la sustitución de elementos informativos caducados por otros nuevos y más precisos. Por otro lado, si se cambia o añade un axioma se produce una teoría nueva. Lo mismo prácticamente vale por lo que hace a los supuestos auxiliares (por ejemplo, las hipótesis simplificadoras) que se aña-

den oportunísticamente a los axiomas cada vez que la teoría se aplica a un caso particular. Como los datos y los supuestos auxiliares son indispensables para la derivación de enunciados singulares, y como estos últimos son los que pueden compararse con la experiencia, tenemos que admitirlos en nuestras teorías; pero como los datos y los supuestos auxilares no son ni axiomas ni teoremas, no pueden pertenecer al núcleo axiomático de las teorías. Dicho de otro modo: las teorías factuales no pueden axiomatizarse plenamente.

Las premisas de una teoría factual son de algunas de las clases siguientes: (*i*) *supuestos iniciales*, o axiomas, y (*ii*) *premisas subsidiarias*, como las hipótesis especiales, los lemas y los datos. Deben llamarse *lemas* las hipótesis demostradas como teoremas en otras teorías y tomadas en préstamo de ellas; se presentan frecuentemente en las deducciones propias de la ciencia factual. Así, por ejemplo, un cálculo realizado en fisiología puede exigir la introducción de fórmulas del análisis matemático y de la mecánica. Y algunas hipótesis especiales, así como informaciones particulares, son naturalmente necesarias para explicar y prever con la ayuda de una teoría. Por ejemplo, si deseamos prever lo que ocurrirá a un individuo particular en circunstancias dadas, necesitamos información específica acerca del individuo y acerca de las circunstancias.

Las premisas subsidiarias (hipótesis especiales, lemas, datos) no se introducen, ni pueden introducirse, en la lista inicial de supuestos de una teoría, sino que se añaden a medida que se necesitan para inferencias. No se limita el número de premisas subsidiarias en una teoría no axiomática: es lícito tomarlas de cualquier campo, mientras satisfagan los requisitos de cierre y homogeneidad semánticos (cf. sec. 2), o sea, con la condición de que no introduzcan elementos ajenos y que hagan expedita la inferencia. Aparte de eso, en el trabajo con sistemas hipotético-deductivos impera la mayor libertad en cuanto a la introducción de premisas relevantes: pero ello mientras esos sistemas no estén plenamente axiomatizados, esto es, mientras no sean autocontenidos o cerrados.

Esta libertad de inventar premisas auxiliares y de usar datos empíricos se termina en el momento en que exponemos un conjunto fijo de supuestos iniciales para construir un sistema *plenamente axiomatizado*, esto es, un sistema hipotético-deductivo cuyas únicas hipótesis son las inicialmente dadas. De hecho, puesto que un sistema axiomático no consta más que de un conjunto de axiomas y de sus consecuencias lógicas no admite premisas subsidiarias (hipótesis especiales, lemas, datos) de las que suelen añadirse sobre la marcha cuando se utiliza una teoría factual para resolver un problema específico. Se sigue de esto que sólo una parte –el cuerpo general, o *núcleo*– de las teorías científicas factuales es axiomatizable. Y también se sigue que en cuanto que una teoría axiomática se aplica a un problema específico, como el cálculo de una previsión, hay que romper su concha axiomática, para que penetren en ella más premisas. Las teorías estrictamente axiomáticas son importantes en la ciencia factual para la investigación de fundamentos, pero es imposible trabajar sólo con ellas, precisamente porque son sistemas cerrados. En la práctica son preferibles las teorías *semiaxiomáticas*, o sea, teorías que tienen un núcleo axiomatizado y permiten la introducción de premisas subsidiarias. En resumen:



Ahora que hemos mostrado las ventajas y las limitaciones de la axiomatización, podemos considerar más de cerca la relación de consecuencia lógica. Cuando una fórmula t sea derivable de un conjunto de supuestos A por medio de la(s) regla(s) R, escribiremos:

$A \vdash_R t$. (El signo '$\vdash_R$'

no designa un operador que, aplicado a los supuestos A, diera la consecuencia lógica o teorema t; pues, dado A, hay normalmente infinitos t tales que $A \vdash t$.)

La relación

$$\vdash_R$$

se especifica enumerando las reglas de inferencia admitidas por la teoría; dicho de otro modo: especificar la relación de inferencia

$$\vdash_R$$

equivale a mencionar la lógica y la matemática subyacentes a la teoría. Como por lo general las teorías factuales presuponen la lógica *ordinaria* (lógica de dos valores) y las teorías matemáticas que la respetan, podemos prescindir de la mención explícita de la(s) regla(s), simplificando la anterior fórmula, escribiendo '$A \vdash t$', que puede leerse: 'De A se infiere t', o 'A implica lógicamente t', lo cual no debe confundirse con 'A implica (materialmente) t', o sea, con '$A \rightarrow t$'. La implicación lógica, el cemento que mantiene juntas las fórmulas de una teoría, es más fuerte que la implicación material: Si $A \vdash t$, entonces $A \rightarrow t$, *pero no a la inversa.* (Generalizado a un conjunto $\{S, A\}$: Si $\{S, A\} \vdash t$, entonces $S \vdash A \rightarrow t$.) Por eso una estrategia corriente para demostrar enunciados condicionales es intentar demostrar que el antecedente implica lógicamente el consecuente.

Es claro que la afirmación de A –o su mera formulación hipotética, por lo que hace a esta argumentación– nos obliga (lógicamente) a aceptar la(s) consecuencia(s) t de A: si A implica lógicamente t, entonces es incoherente afirmar a la vez A y $-t$. Dicho de otro modo: independientemente del valor veritativo de A (que puede ser desconocido), la conjunción $A \ \& -t$ es lógicamente falsa. Consiguientemente, su negación, o sea, $-(A \ \& -t)$, es lógicamente verdadera. Ahora bien: es fácil mostrar (asignando valores veritativos a A y t) que $-(A \ \& -t)$ es lo mismo que $A \rightarrow t$. Por tanto, decir que A implica lógicamente t es lo mismo que decir que $A \rightarrow t$ es lógicamente verdadero, o también que $A \rightarrow t$ es un *condicional analítico*, no meramente un condicional contingente, o sea, un condicional que pudiera ser o no ser verdadero según la correspondencia de A con los hechos.

*He aquí otras tres formulaciones de la misma idea (el llamado *teorema de deduc-*

ción). (*i*) Condición necesaria y suficiente de que una fórmula A implique lógicamente t es que el condicional "$A \rightarrow t$" pertenezca al conjunto L de las fórmulas lógicas o identidades lógicas. Brevemente: $A \vdash t$ csf $(A \rightarrow t \in L)$. (*ii*) Extensión a un conjunto de premisas: Condición necesaria y suficiente de que un conjunto de supuestos $A = \{A_1, A_2, \ldots A_n\}$ tenga la consecuencia lógica t es que A contenga un subconjunto $A' = \{A_1, A_2, \ldots A_k\}$, con $k \leq n$, tal que $[(A_1 \,\&\, A_2 \,\&\, \ldots \,\&\, A_k) \rightarrow t] \in L$. (*iii*) Lo mismo, escrito con aplicación de la regla de exportación: Condición necesaria y suficiente de que un conjunto de supuestos $A = \{A_1, A_2, \ldots A_n\}$tenga la consecuencia lógica t es que A contenga un subconjunto $A' = \{A_1, A_2, \ldots A_k\}$, con $k \leq n$, tal que $[A_1 \rightarrow (A_2 \rightarrow (\ldots \rightarrow (A_k \rightarrow t)\ldots))] \in L$.*

Desde un punto de vista puramente formal, *demostrar, probar y deducir* son lo mismo: si deducimos t de A con la ayuda de la(s) regla(s) R, demostramos o probamos t en el sistema basado en A y R. (Obsérvese la relatividad de la demostración al sistema.) Pero si resulta que A es la base de una teoría factual, la demostración de t por A y R no prueba que t sea *verdadera* respecto de los hechos. Todo lo que aquella demostración muestra es que si A es (o fuera) verdadera y R es (o fuera) el conjunto de reglas adoptado, entonces t se sigue necesariamente (o se seguiría necesariamente). La validez de la *argumentación* que lleva de A a t por R es lo único que se establece: no la verdad de t. Hay que tener esto en cuenta por lo que hace a las teorías matemáticas de la ciencia factual, para evitar el tomar una demostración matemática de un enunciado factual por la convalidación empírica de éste.

Hasta el momento hemos clasificado las fórmulas de una teoría axiomática en supuestos iniciales (axiomas) y sus consecuencias lógicas (teoremas); y hemos unido tácitamente las definiciones con los axiomas por el hecho de que ellas también son puestas, no derivadas. Pero no todos los axiomas de una teoría tienen la misma importancia, ni todos sus teoremas son del mismo nivel. En la mayor parte de las teorías hay un pequeño subconjunto de supuestos iniciales, y a menudo un solo axioma, que pueden considerarse esenciales o *centrales*. Según eso, si se cambian los axiomas periféricos manteniendo el (los) central(es) no solemos hablar de teorías diferentes –pese a que sin duda lo son–, sino más bien de formulaciones o *versiones* diferentes de una misma teoría. Así, por ejemplo, el axioma central de la teoría elemental de la probabilidad es: "Si A y B son disyuntos, entonces la probabilidad de la unión de A y B es igual a la suma de las probabilidades de A y B" (cf. sec. 7.5). Los demás axiomas pueden cambiarse sin afectar esencialmente a la teoría, puesto que su función principal consiste en fijar el campo [0,1], el cual es completamente convencional. Análogamente, el axioma central de la mecánica newtoniana es la fórmula Fuerza = Masa × Aceleración."

Por lo que hace a los teoremas de una teoría, su importancia relativa depende de muchos factores. Pero hay una dicotomía que se aplica universalmente porque es de naturaleza lógica: a saber, la división de las consecuencias lógicas en teoremas generales, o *teoremas* sin más, y *casos* o ejemplos de ellos. Un caso del teorema "$s(t) = 1/2\, gt^2$" es: "$s(10) = 1/2\; 981\; 10^2$". Un teorema tiene un número *ilimitado* de casos. Esos casos, y no el teorema, son los que pueden referirse a hechos singulares. (En parte por esta razón los casos de teoremas se llaman a veces *hechos*. Pero ése es un nombre poco adecuado en cualquier filosofía, salvo en el idealismo, porque suprime la diferencia entre la idea y su referente.) Los teoremas de una teoría factual desempeñan una función inferencial,

además de salvar el abismo entre los axiomas de nivel alto y las proposiciones singulares cercanas a la experiencia. Efectivamente, incluso en la teoría axiomatizada los supuestos iniciales A son insuficientes para la derivación de todas sus consecuencias. El procedimiento usual es como sigue. Primero se derivan las consecuencias inmediatas o corolarios de los axiomas A; por ejemplo, del axioma "$p \rightarrow p \vee q$" el corolario "$p \rightarrow p \vee p$" se obtiene inmediatamente. Luego se deriva algún teorema fuerte o importante, t_1, que se usa a continuación en conjunción con A para derivar otras consecuencias; y así sucesivamente. Dicho de otro modo: todo nuevo teorema puede añadirse a la base A, la cual, así enriquecida, permite la derivación de más consecuencias. Por ejemplo, una vez obtenido t_1, podremos obtener algún teorema $t_1 \rightarrow t_2$ mediante A y t_1; luego, por el *modus ponens*, separamos t_2.

Atendamos ahora a las teorías como *todos*, o sea, como conjuntos ordenados por la relación de consecuencia lógica. Todo miembro de una teoría científica es una función proposicional (cuantificada o sin cuantificar) de alguna clase; por tanto, toda teoría científica es un *conjunto estructurado de fórmulas* que, aparte de su propio contenido, caen bajo el dominio de la rama de la lógica llamada cálculo funcional o *cálculo de predicados* (con identidad), abreviado *CP*. La frase 'con identidad' significa que el *CP* se amplía para incluir la teoría de la identidad, la cual es más bien trivial, pero importante, y especifica la significación de '='. Cualquier conjunto de fórmulas del cálculo de predicados, junto con la relación de deducción o inferencia $\vdash$, constituye una *teoría T*. Simbólicamente:

$$T = \langle F, \vdash \rangle, \text{ con } F \subset CP = \qquad [7.1]$$

Las deducciones practicadas en el conjunto F no producen ninguna fórmula nueva, esto es, ninguna fórmula que no pertenezca al conjunto F. Dicho de otro modo: el conjunto F de fórmulas de una teoría es *cerrado respecto de la deducción*. (Análogamente, el conjunto de los enteros no negativos es cerrado respecto de la adición, pero no respecto de la sustracción, que puede producir enteros negativos.) Así, pues, desde un punto de vista lógico una teoría, científica o no, puede caracterizarse por la siguiente *Definición*: Una *teoría* es un conjunto de fórmulas del cálculo de predicados (con identidad) cerrado respecto de la deducción en ese cálculo. (Suele añadirse la restricción de que el cálculo de predicados sea precisamente de primer orden, o sea, que no trate más propiedades que las de individuos. No recogemos esa restricción porque en la ciencia necesitamos funciones de orden superior, como "es una variable dinámica", y cuantificaciones de predicados, como "para todas las fuerzas".)

*He aquí una definición equivalente. F es una *teoría* o un sistema deductivo si y sólo si

*D*1 Si p y $p \rightarrow q$ pertenecen a F, entonces q pertenece a F, para todo p y todo q.
*D*2 Si p y q pertenecen a F, entonces $p \,\&\, q$ pertenece a F, para todo p y todo q.

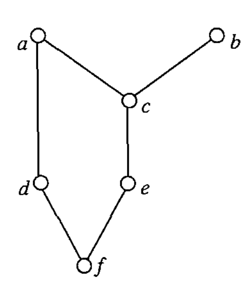


FIGURA 7.5. Un filtro de base B = $\{a, b\}$. El elemento c es el límite inferior máximo de a y b, o sea: $c = a \cap b$; y f es el límite inferior máximo de d y e, pero también inferior máximo de d y f y de e y f.

Un tal conjunto es un ejemplo de *filtro*, estructura algebraica muy general (cf. fig. 7.5). En general, dado un conjunto parcialmente ordenado, P, o sea, un sistema constituido por un conjunto abstracto y por la relación abstracta $\leq$ en él, si F es un subconjunto no vacío de P, entonces F es un *filtro* si y sólo si

$F1$ Si x pertenece a F y x precede a y, entonces y pertenece a F, para todo x y todo y.
$F2$ El límite inferior máximo de dos miembros cualesquiera de F pertenece a F.
$F3$ El conjunto vacío no está incluido en F

Si P se interpreta entonces como un conjunto de fórmulas (por ejemplo, funciones proposicionales), $\leq$ como la implicación lógica, y el límite inferior máximo como la conjunción, puede demostrarse que todo filtro no vacío es un sistema deductivo, y a la inversa. El estudio de la estructura de las teorías (sistemas deductivos) queda así recogido por el álgebra abstracta.*

Las anteriores definiciones se aplican a cualquier teoría, axiomatizada o no. Distingamos ahora, dentro del conjunto F de las fórmulas de una teoría, el subconjunto A de sus supuestos iniciales o axiomas, y prescribamos que no se introducirán más premisas que las que constituyan la base A; o sea: consideremos el caso especial de las teorías *axiomáticas*. El conjunto axiomático A, o *base* de la teoría, es enumerable y generalmente –aunque no siempre– finito. (Si la base de una teoría es un conjunto finito –o sea, si los supuestos iniciales son en número finito– se dice que la teoría es *finitísticamente axiomatizable*.) Llamaremos $Cn(A)$ al conjunto infinito de todas las consecuencias lógicas, o teoremas y ejemplos de ellos, derivables de A. Como toda fórmula se implica a sí misma (o sea, como la relación $\vdash$ es reflexiva), $Cn(A)$ contiene a A. Dicho de otro modo: $Cn(A)$ es el conjunto de los supuestos iniciales más todas sus consecuencias, o sea, el conjunto de los axiomas y los teoremas. En resolución: $Cn(A)$ es el conjunto F de todas las fórmulas de la teoría basada en A:

$$F = Cn(A) \qquad [7.2]$$

(También $F = Cn(F)$, lo que quiere decir que una teoría axiomática contiene todas sus consecuencias, o sea, que es deductivamente cerrada.) Podemos según eso adoptar la

siguiente *Definición*: Una *teoría axiomática* de base A es el conjunto de todas las consecuencias lógicas de A.

El caso más sencillo se presenta cuando no hay ningún supuesto, o sea, cuando la base de la teoría es el conjunto vacío ∅. Si nos preguntamos ¿Qué se sigue de nada?', la respuesta correcta, aunque nada intuitiva, es lo que se sigue de nada es la lógica ordinaria. Esto es: no hay supuestos a partir de los cuales se siga la lógica; o, como también puede decirse, nada precede (lógicamente) a la lógica; otra manera de decir lo mismo: la lógica es autocontenida. (Con esto queda probada la autonomía de la lógica; cf. sec. 5.9.) Esto puede escribirse brevemente así:

$$Cn(\varnothing) = L, \quad \text{o} \quad \varnothing \vdash L \qquad [7.3]$$

El dual de este teorema es: De supuestos lógicamente falsos se sigue cualquier cosa. O sea: el conjunto U de todas las fórmulas se sigue de todo conjunto unidad $\{A\}$ tal que la negación de A sea lógicamente verdadera:

$$\text{Si } -A \in L, \text{ entonces } Cn(A) = U \qquad [7.4]$$

He aquí una primera moraleja: huir de fórmulas que puedan explicarlo todo, en el campo dado y en cualquier otro. Segunda: no reforzar los supuestos a toda costa. (En la sec. 5.7 puede verse algo acerca de las limitaciones de la fuerza lógica.)

¿Qué puede derivarse de un conjunto unidad $A = \{e\}$, constituido por una proposición fáctica simple (atómica), como, por ejemplo, el registro de una observación empírica? Obviamente puede deducirse la propia e; y, además, el condicional inútil $h \rightarrow e$, en el cual h es un enunciado cualquiera, o sea, no determinado por e. Esto quiere decir que los elementos de información aislados son deductivamente estériles. Tomemos ahora un conjunto N de evidencias empíricas $\{e_i\}$ como base. Sólo podremos derivar conjunciones y disyunciones triviales de esas evidencias, así como condicionales indeterminados $h_i \rightarrow e_i$. Y así podemos seguir amontonando simples proposiciones de nivel bajo sin sacar nada en limpio teoréticamente: un conjunto de informaciones lógicamente aisladas, por precisas y numerosas que sean, está tan lejos de ser una teoría como pueda estarlo una colección de chismes. Un conjunto de supuestos no puede empezar a dar de sí consecuencias lógicas –y, por tanto, demostraciones– más que si esos supuestos trascienden los datos. En este caso, un solo supuesto inicial –siempre que sea rico (cf. sec. 2)– puede implicar infinitas consecuencias lógicas. En resolución: *los datos no producen teorías*.

La base A más simple posible, pero ya relevante, consta de un condicional y su antecedente, o la negación de su consecuente. En estos casos las consecuencias lógicas inmediatas son:

$$A_1 = \{p, p \rightarrow q\} \vdash q \; (\textit{Modus ponens}) \qquad [7.5]$$
$$A_2 = \{-q, p \rightarrow q\} \vdash -p \; (\textit{Modus tollens}) \qquad [7.6]$$

*Esas consecuencias inmediatas no agotan en modo alguno todas las deducciones a partir de los axiomas dados. Para obtener la clase entera $Cn(A)$ de las consecuencias de

A, es decir, el entero conjunto F de las fórmulas de una teoría de base A, podemos aplicar la siguiente *Regla*: Componer conjuntivamente los supuestos y desarrollar el resultado en una conjunción de disyunciones (o sea, ponerlo en forma normal conjuntiva). Cada miembro y cada conjunción de miembros será una consecuencia lógica de los axiomas dados. En el caso de [7.5] tenemos la cadena:

$$[p \,\&\, (p \rightarrow q)] \leftrightarrow [p \,\&\, (-p \vee q)]$$
$$[p \,\&\, (-p \vee q)] \leftrightarrow [p \vee (q \,\&\, -q)] \,\&\, (-p \vee q)$$
$$[p \,\&\, (q \vee -q)] \,\&\, (-p \vee q) \leftrightarrow (p \vee q) \,\&\, (p \vee -q) \,\&\, (-p \vee q),$$

de donde:

$$F_1 = Cn(A_1) = \{p \vee q, p \vee -q, -p \vee q, (p \vee q) \,\&\, (p \vee -q), (p \vee q) \,\&\, (-p \vee q), (p \vee -q) \,\&\, \&\, (-p \vee q), (p \vee q) \,\&\, (p \vee -q) \,\&\, (-p \vee q)\}$$

Mas como

$$(-p \vee q) \leftrightarrow (p \rightarrow q),$$
$$(p \vee q) \,\&\, (p \vee -q) \leftrightarrow (p \vee (q \,\&\, -q) \leftrightarrow p),$$
$$(p \vee q) \,\&\, (-p \vee q) \leftrightarrow (p \,\&\, -p) \vee q \leftrightarrow q,$$
$$(p \vee -q) \,\&\, (-p \vee q) \leftrightarrow (p \leftrightarrow q),$$
$$(p \vee q) \,\&\, (p \vee -q) \,\&\, (-p \vee q) \leftrightarrow [(p \vee q) \,\&\, (p \vee -q)] \,\&\, \&\, [(p \vee q) \,\&\, (-p \vee q)] \leftrightarrow p \,\&\, q,$$

tenemos finalmente la familia mínima iniciada por A_1:

$$F_1 = Cn\,(A_1) = p,\ p \rightarrow q;\ q, p \,\&\, q, p \vee q, p \vee -q, p \leftrightarrow q \qquad [7.7]$$

como suma total de las fórmulas de la microteoría de base $A = \{p,\ p \rightarrow q\}$. Análogamente para 7.6:

$$[-q \,\&\, (p \rightarrow q)] \leftrightarrow [(-q \vee p) \,\&\, (-q \vee -p) \,\&\, (-p \vee q)]$$

de donde

$$F_2 = Cn(A_2) = \{ p \vee -q, -p \vee q, -p \vee -q, (p \vee -q) \,\&\, (-p \vee q), (p \vee -q) \,\&\, (-p \vee -q), (-p \vee q) \,\&\, (-p \vee -q), (p \vee -q) \,\&\, (-p \vee q) \,\&\, (-p \vee -q)\}.$$

Aplicando conocidas equivalencias, obtenemos por último:

$$F_2 = Cn(A_2) = \{-q, p \rightarrow q; -p, -p \,\&\, -q, p \vee q, -p \vee -q, p \rightarrow q\}. \qquad [7.8]$$

*En realidad F_1 y F_2 son los conjuntos *más pequeños* de consecuencias lógicas distintas de las bases de dos miembros A_1 y A_2: mediante ampliaciones repetidas de la regla

de adición ("p implica $p \vee q$") pueden introducirse en el sistema proposiciones cualesquiera, r, s, t, ..., y el sistema mismo puede entonces ampliarse en conjuntos infinitos. Pero este crecimiento chocará con los principios de homogeneidad y cierre semánticos (cf. sec. 2), los cuales eliminarán a las recién llegadas que no estén emparentadas con la base inicial. Esta regla de endogamia limitará efectivamente la dimensión del conjunto de fórmulas, pero la presencia de conceptos cuantitativos en cualquiera de los supuestos iniciales de la teoría bastará para dar infinitas consecuencias lógicas, puesto que algunos teoremas tendrán infinitos ejemplos.

*Formulemos dos sencillos teoremas del *cálculo de los sistemas axiomatizables* (A. Tarski). Sean A_1 y A_2 dos bases axiomáticas, y $F_1 = Cn(A_1)$, $F_2 = Cn(A_2)$ los correspondientes conjuntos de fórmulas, o sea, los correspondientes sistemas deductivos. Entonces pueden demostrarse los siguientes teoremas:

Teorema 1. $F_1 \subset F_2$, o sea, $Cn(A_1) \subset Cn(A_2)$, si y sólo si $A_1 \rightarrow A_2$ [7.9]

En lenguaje algebraico: Un filtro F_2 de base A_2 es más *fino* que un filtro F_1 de base A_1 si y sólo si todo miembro de A_1 se sigue de un elemento de A_2.

En expresión más común: Es una condición necesaria y suficiente para que una teoría incluya otra teoría que la base axiomática de la primera implique la base axiomática de la segunda. Se dice entonces que A_2 es una *extensión* de A_1, o, en el mismo sentido, que F_1 es una *subteoría* de F_2. Por ejemplo, la mecánica de un solo punto de masa está incluida en la mecánica de un sistema de puntos de masa en interacción, cuya base difiere de la primera esencialmente por el añadido del axioma de la igualdad de acción y reacción.

Teorema 2. $F_1 = F_2$, o sea, $Cn(A_1) = Cn(A_2)$, si y sólo si $A_1 \rightarrow A_2$ [7.10]

En general, dos bases de filtros son *equivalentes* si y sólo si producen el mismo filtro. Dicho de modo más común: Es una condición necesaria y suficiente de la equivalencia de dos teorías que sus bases axiomáticas sean equivalentes. Obsérvese que esta equivalencia es formal, no semántica; o sea, A_1 y A_2 pueden no tener la misma interpretación. Por ejemplo, la mecánica ondulatoria y la de matrices son matemáticamente equivalentes, pero están construidas con conceptos primitivos parcialmente diferentes; en consecuencia, no son semánticamente equivalentes: no tienen el mismo sentido físico.*

Dada la base A de una teoría, el conjunto $F = Cn(A)$ de las consecuencias lógicas de A queda completamente determinado. Pero 'determinado' no quiere decir "dado": las conclusiones $Cn(A)$ no están contenidas *por separado* en las premisas A, sino que tienen que *separarse* de ellas con la ayuda de reglas de inferencia (por ejemplo, algoritmos calculísticos) y trucos *ad hoc*, como la adición de alguna premisa conveniente en absoluto dictada por las premisas básicas, sino por la finalidad perseguida (el teorema que se quiere demostrar). O sea: una teoría F no queda *dada* por su base A, sino que tiene que *construirse* paso a paso sobre la base de A y con la ayuda de todo lo que pueda facilitar lícitamente el proceso de la inferencia. Considerada desde un punto de vista histórico, pues, una teoría es un conjunto de fórmulas en crecimiento: en cualquier momento dado no se conoce más que una parte finita del conjunto total F; el complemento de este con-

junto *actual*, o sea, el conjunto de las fórmulas *potenciales* (derivables, pero no deducidas aún), está determinado por la base A, pero no dado por ella.

Al estudiar la estructura lógica de las teorías tomamos el conjunto entero, F, de las fórmulas, o sea, la unión de las fórmulas actuales y las potenciales de la teoría. Cuando se confunde así lo conocido y lo desconocido, lo viejo y lo nuevo, la inferencia deductiva no parece añadir nada nuevo a los supuestos iniciales: desde este punto de vista, que es perfectamente legítimo, pero parcial, la novedad queda excluida *ab initio* porque se identifica "determinado por A" con "dado por A". Las cosas cambian de aspecto cuando la deducción se trata como un *proceso*, no como una relación lógica, o sea: cuando se sustituye el punto de vista lógico por los puntos de vista epistemológico e histórico. En este caso la novedad introducida por la deducción no trivial es tan patente como cuando el hidrógeno y el oxígeno, los componentes del agua, se separan mediante la electrólisis. Y la novedad aumenta cuando las consecuencias lógicas se estiman no ya sobre la base de las premisas y las reglas de inferencia, sino a la luz de los datos empíricos: se añaden entonces metaenunciados sobre el valor veritativo empírico de las conclusiones, enunciados que son más o menos diferentes de los metaenunciados que se refieren al valor veritativo de esas mismas fórmulas, pero sobre la base de las premisas. Dicho brevemente: la contrastación empírica de nuestras premisas (fragmento de conocimiento original) suministra más conocimiento original. No hará falta decir que la concepción lógica de la deducción como relación atemporal (implicación) es diferente de –pero compatible con– la concepción epistemológica de la misma como método para el aumento del conocimiento.

Problemas

7.3.1. ¿Hay alguna diferencia entre un axioma y una premisa? Recordar que, por definición, una premisa es cualquier fórmula que se introduce en una demostración lógica, estuviera o no enumerada entre los supuestos iniciales.

7.3.2. En la división de las fórmulas de una teoría utilizada en el texto se unían las definiciones con los axiomas. ¿Está eso justificado? Cf. sec. 3.4.

7.3.3. ¿Es posible construir una teoría sobre un solo axioma? No concebir los axiomas como fórmulas proposicionales sin analizar, sino como fórmulas del cálculo de predicados con identidad. *Problema en lugar de ése*: ¿Son teorías propiamente dichas, o sea, sistemas hipotético-deductivos, la teoría celular de Schwann o la teoría russelliana de los tipos?

7. 3.4. Averiguar si la relación de implicación $\vdash$ tiene todas las propiedades de la relación $\leq$, tal como las estipulan los siguientes axiomas, que constituyen la base de la teoría del *orden parcial*:

P1 Para todo x de U, $x \leq x$ (*Reflexividad*)
P2 Para todo x y todo y de U, $x \leq y \ \& \ y \leq x \rightarrow x' = y$ (*Antisimetría*)
P3 Para todo x, todo y y todo z de U, $x \leq y \ \& \ y \leq z \rightarrow x \leq z$ (*Transitividad*)

U, el universo del discurso o conjunto de referencia, es un conjunto abstracto, o sea, una colección de individuos no descritos. El símbolo '$\leq$' puede leerse 'precede', pero también puede interpretarse de otros varios modos.

7.3.5. ¿Qué sentido operativo, si es que tiene alguno, puede atribuirse al enunciado: 'Un conjunto de supuestos determina lógicamente todas las consecuencias que se siguen de él con la ayuda de las reglas de inferencia reconocidas, aunque hasta el momento no se haya deducido realmente ni una sola consecuencia'? Cf. M. Bunge, *Intuition and Science*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1962, pp. 42-49. *Problema en lugar de ése*: Cualquier conjunto de fórmulas empíricamente contrastables puede derivarse de infinitos conjuntos distintos de supuestos. ¿Hace esta indeterminación incontrastables a los supuestos básicos y, por tanto, arbitrarios?

7.3.6. Construir un "sistema" no deductivo en miniatura (un conjunto de fórmulas) y un sistema deductivo en miniatura. *Problema en lugar de ese*: La persona entregada a la resolución de un problema no suele tener mucha consciencia de las premisas, ni interés por la estructura de las teorías: se aferra a cualquier proposición que pueda ser útil para sus fines. ¿Pueden proceder del mismo modo el crítico y el constructor de teorías?

7.3.7. ¿Es posible reconocer hipótesis de varios niveles (esto es, axiomas, teoremas de nivel intermedio y teoremas de nivel bajo) en el psicoanálisis para establecer relaciones deductivas entre ellas? Dicho de otro modo: ¿es el psicoanálisis una teoría propiamente dicha? Cf. por el lado psicoanalítico E. Frenkel-Brunswik, "Confirmation of Psychoanalitic Theories", en P. G. Frank (ed.), *The Validation of Scientific Theories*, Boston, Beacon Press, 1956; por el lado crítico, E. Nagel, "Methodological Issues in Psychoanalitic Theory", en S. Hook (ed.), *Psychoanalysis, Scientific Method and Philosophy*, Nueva York, Nueva York University Press, 1959.

7.3.8. Discutir e ilustrar el proceso de derivación de las teorías científicas a partir de teorías más fuertes. *Problema en lugar de ése*: Discutir ejemplos de la relación entre la subteoría y la teoría.

7.3.9. Puesto que el concepto de implicación lógica es relativo al conjunto R de las reglas de inferencia aceptadas –o sea, insertas en la teoría lógica subyacente a la teoría dada–, cambiando R por un conjunto diferente, R', podemos también cambiar el conjunto de las consecuencias $Cn(A)$ por un conjunto diferente $Cn'(A)$. Así, por ejemplo, un mismo conjunto de axiomas A dará lugar a dos conjuntos de teoremas según que se adopte la lógica de dos valores o la de tres valores, y, consiguientemente, se tendrán dos teorías diferentes. Discutir (*i*) si la comparación de las consecuencias empíricamente contrastables de esas dos teorías mediante los datos bastará para imponer una decisión entre ellas, teniendo en cuenta que también los enunciados en lenguaje observacional tendrán que interpretarse según el sistema de lógica no-ordinaria; (*ii*) si tendrá alguna ventaja el adoptar sistemas de lógica no-ordinaria; (*iii*) si esa adopción en algún campo dado (por ejemplo, la mecánica de los quanta) no impondrá la misma adopción en los demás campos de la ciencia, o, al menos, en los adyacentes, con objeto de preservar la posibilidad de echar puentes entre las varias teorías, lo cual es, en definitiva, la principal justificación del deseo de mantener la unidad lógica de la ciencia.

7.3.10. Informar acerca del estado actual de las teorías algebraica y lógica de las teorías (cálculos de sistemas). *Problema en lugar de ése*: Dado un conjunto A de supuestos y presupuestos específicos y un conjunto cualquiera, B, de fórmulas, el conjunto de las consecuencias, $F = Cn(A \cup B)$, puede considerarse como una familia producida de un modo *sintácticamente* lícito por A. Es claro que no tiene límite el número de familias de este tipo que puede producir una base axiomática dada. Averiguar si los requisitos de unidad conceptual (cf. sec. 7.2.) seleccionan una sola subfamilia *semánticamente* legítima de F.

7.4. TEORÍA ABSTRACTA E INTERPRETACIÓN

Diremos que un conjunto de símbolos es *semánticamente abstracto* si y sólo si ninguno de ellos está interpretado o es significativo; *semiabstracto* si están interpretados algunos símbolos, pero no *todos*; e *interpretado* si lo están todos. El concepto aquí supuesto es el de abstracción semántica, no epistemológica: no estamos meramente refiriéndonos a símbolos cuyos correlatos estén lejos de la experiencia ordinaria –por ejemplo, 'presión osmótica'. Los símbolos semánticamente abstractos son símbolos que no denotan, como el símbolo operativo no especificado 'o' que se utiliza en el álgebra abstracta, el cual no tiene significación fija y puede por tanto interpretarse a posteriori de diversos modos. Los símbolos semánticamente abstractos lo son también epistemológicamente, pero no vale, en cambio, la afirmación recíproca. Así, los conceptos de más alto nivel de la física teorética son epistemológicamente abstractos, pero no carecen de significación: tienen por lo menos una interpretación matemática específica (generalmente como variables numéricas), y la mayoría de ellos significan además propiedades físicas. Por ejemplo, aunque no se atribuyen propiedades físicas a los potenciales de las teorías de campo, sino que se les considera meros conceptos auxiliares matemáticos esos conceptos son por lo menos variables numéricas, de tal modo que tienen una significación matemática.

Una *teoría abstracta* es un sistema deductivo de esquemas en el cual no aparecen más que símbolos sin interpretar (abstractos), tales como la clase de referencia U de elementos no descritos $x, y, \ldots$, y la operación binaria, o, en un álgebra $A = \langle U, o \rangle$. Los supuestos iniciales o axiomas de una teoría abstracta pueden no contener variables individuales libres; las fórmulas universales y existenciales se aceptarán como miembros de una tal teoría siempre que se dejen sin especificar la naturaleza de las variables individuales y las significaciones de los predicados. Así, por ejemplo, una fórmula como

Para todo x y para todo y, si x e y pertenecen a U, entonces

$$x \, o \, y = y \, o \, x$$

se considerará un esquema con la condición de que U y o no estén interpretados. Según eso, los supuestos iniciales no demostrados de una teoría abstracta no son ni verdaderos ni falsos, por no hablar ya de autoevidencia. No son más que condiciones formales a las cuales están sometidos los símbolos primitivos (U y o en el ejemplo anterior). Dicho de otro modo: los símbolos primitivos (no definidos) de una teoría abstracta no son interpretados, sino abstractos: son símbolos que no denotan, y, por tanto, puede decirse que no son conceptos, sino simplemente símbolos. Por eso las teorías abstractas carecen de significación. Se les llama en consecuencia *sistemas sintácticos*, mientras que las teorías interpretadas, o modelos de sistemas sintácticos, se llaman *sistemas semánticos*.

Al presentar una teoría abstracta solemos indicar cómo pueden leerse sus símbolos primitivos. Así, al exponer una teoría algebraica con los símbolos de operaciones ' $\oplus$ ' y ' $\otimes$ ' no interpretados, podemos observar que en algunas interpretaciones de la teoría el primero será el functor aritmético de adición, y el segundo el functor aritmético del producto. Pero éstas serán observaciones extrasistemáticas o extrateoréticas, o meros comen-

tarios sin más finalidad que la psicológica o didáctica, para facilitar la comprensión y provocar interés.

Las teorías abstractas son características de la lógica y la matemática modernas. Pero también se presentan en los estadios iniciales de la reconstrucción lógica (formalización) de teorías factuales, como la mecánica o la genética. Hay por lo menos dos razones para apreciar las teorías abstractas. Una es que toda teoría abstracta contiene en germen un número ilimitado de teorías interpretadas, o modelos; las teorías abstractas son *genéricas* por el hecho de no estar comprometidas en ninguna interpretación. Dicho de otro modo: una sola teoría abstracta puede subyacer a cierto número de teorías específicas (interpretadas); y una vez descubierto eso, las derivaciones formales pueden hacerse de una vez para siempre para el entero conjunto de teorías interpretadas que tienen el mismo esqueleto. Esto no tiene sólo la ventaja de la economía, sino también la virtud del rigor: efectivamente, si una derivación es puramente formal, si no interviene en ella ningún elemento intuitivo, entonces se disminuye grandemente el riesgo de error; por otro lado, las derivaciones puramente formales pueden resultar de práctica más difícil, cosa que constituye su principal inconveniente práctico. Otra razón para estimar las teorías abstractas es de carácter metacientífico, a saber: que *la estructura de una teoría científica*, formal o no, es precisamente una teoría abstracta: todo lo demás es interpretación y aplicación. Por tanto, la lógica de las teorías científicas es, hablando estrictamente, el estudio de las teorías abstractas subyacentes; además, puesto que las teorías constituyen el núcleo de la ciencia contemporánea, la estructura de la ciencia es primariamente tema para la lógica y la matemática, incluyendo sus respectivas metadisciplinas. (Recordar el teorema formulado en la sección 3, según el cual todo sistema deductivo es, desde el punto de vista de su estructura, un filtro.)

En esta sección y en la siguiente esbozaremos el núcleo de dos teorías abstractas que pueden manejarse como herramientas en el análisis de la ciencia: la teoría del orden parcial y la teoría de la probabilidad. No sólo son teorías *formales*, en el sentido de ser lógicamente independientes de la experiencia, sino que, además, son semánticamente abstractas, porque carecen de significación y son, por tanto, susceptibles de un número ilimitado de interpretaciones.

En sus elementos esenciales la teoría del *orden parcial* es un conjunto de fórmulas que relacionan dos conjuntos de símbolos primitivos: un conjunto no vacío, U, de elementos no descritos, $x, y, z, \ldots$, y un símbolo relacional binario, '$\leq$', que puede leerse 'precede'. Podemos por tanto simbolizar la teoría T del orden parcial así: $T = \langle U, \leq \rangle$. Los axiomas de la teoría, o sea, las condiciones a que quedan sometidos los símbolos primitivos, son los siguientes:

$P1$ Para todo x de U, $x \leq x$ (*Reflexividad*) [7.11]
$P2$ Para todo x y todo y de U, $x \leq y \;\&\; y \leq x \rightarrow x = y$ (*Antisimetría*) [7.12]
$P3$ Para todo x, todo y y todo z de U, $x \leq y \;\&\; y \leq z \rightarrow x \leq z$ (*Transitividad*) [7.13]

Examinemos algunos conjuntos parcialmente ordenados:

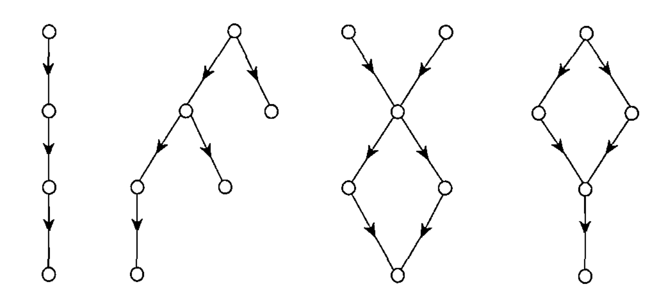


FIGURA 7.6. Conjuntos parcialmente ordenados. Cada miembro del conjunto está representado por un círculo, cada línea representa la relación $\leq$. El primer diagrama empezando por la izquierda es una cadena, o sea, representa un conjunto en el que vale la relación $<$.

El 1o. y el 4o. son algo más que meros conjuntos parcialmente ordenados: son retículos, porque para cada par de elementos existe un borne máximo inferior y un último borne superior.

Simplificaremos la simbolización adoptando la siguiente *Convención* notacional: '$(x)_U$' significa lo mismo que 'Para todo x perteneciente a U'.

Con esta abreviatura, la base de la teoría abstracta de los conjuntos ordenados es la siguiente lista de símbolos sin significación:

Primitivas (base predicativa)

1 *Primitivas lógicas:* todas las de la lógica elemental.
2 *Extralógicas* (específicas): el conjunto abstracto U y la relación binaria $\leq$.

Axiomas (supuestos iniciales)

*P*1 $(x)_U(x \leq x)$ (*Reflexividad*) [7.11']
*P*2 $(x)_U(y)_U[x \leq y \;\&\; y \leq x \rightarrow x = y]$ (*Antisimetría*) [7.12']
*P*3 $(x)_U(y)_U(z)_U[x \leq y \;\&\; y \leq z \rightarrow x \leq z]$ (*Transitividad*) [7.13']

Definición 1: Se dice que un conjunto U es *parcialmente ordenado* si y sólo si satisface los anteriores axiomas. (La ordenación *total* se obtiene añadiendo la condición de que la relación $\leq$ tiene que valer entre *todo* par de elementos del conjunto:

$$(x)_U(y)_U\ (x \leq y \vee y \leq x).$$

En este caso el orden es *lineal*, o sea, el conjunto es una cadena.)

Del anterior esquema pueden derivarse unos cuantos teoremas, como, por ejemplo:

$$T1\ (x)_U(y)_U(z)_U\ [x \leq z \leq y \;\&\; x = y \rightarrow x = y = z]$$

El ulterior desarrollo de la teoría exige la introducción de nuevos conceptos. Como en una teoría axiomática no pueden introducirse nuevos conceptos que no estén incluidos entre los primitivos, la construcción de conceptos tiene que hacerse por medio de definiciones mediante las primitivas. Por ejemplo, podemos introducir la relación, más fuerte, $<$, que es la relación de precedencia estricta (la cual produce una ordenación parcial *estricta*), por medio de la siguiente

Definición 2 $\quad (x)_U(y)_U \quad [x < y =_{\mathrm{df}} x \leq y \;\&\; x \neq y]$ [7.14]

Esto nos permite demostrar, por ejemplo:

$$T2\ (x)_U - (x < x)$$

y

$$T3\ (x)_U(y)_U(z)_U \quad [x < y \;\&\; y < z \rightarrow x < z]$$

Se obtienen otras consecuencias interesantes introduciendo los conceptos de sucesor inmediato, de primer elemento, de último elemento, de borne inferior máximo, de borne superior último, etc. De este modo –ampliando la base predicativa– se construyen nuevas teorías abstractas más ricas, como la de retículos y la de filtros. La teoría del orden parcial está contenida en todas esas otras, o, como suele decirse, todas esas teorías se *basan* en la teoría del orden parcial.

Ahora bien: la teoría abstracta recién esbozada puede interpretarse de un número ilimitado de maneras. Dicho de otro modo: hay un número ilimitado de relaciones de precedencia de naturaleza diferente, pero todas con la misma estructura lógica. O, también, infinitas interpretaciones de las primitivas de la teoría del orden parcial *satisfacen* sus axiomas; cada una de ellas se llama un *modelo* o representación de la teoría abstracta. Todo modelo de nuestra teoría estará plenamente determinado por un par de *reglas de interpretación*: una para la primitiva U y otra para la primitiva $\leq$. Una regla de interpretación de un símbolo s es un enunciado de la forma "$I(s) = m$", siendo 'm' representación de una disposición significativa de símbolos. Se consiguen unos cuantos modelos de nuestra teoría abstracta añadiéndole las siguientes reglas de interpretación:

1. *Interpretación en teoría de conjuntos*: inclusión entre conjuntos.
   $I(U)$ = conjunto de subconjuntos.
   $I(\leq) = \subset$ [inclusión impropia].

2. *Interpretación lógica*: implicación.
   $I(U)$ = conjunto de enunciados.
   $I(\leq) = \rightarrow$ [implicación].

3. *Interpretación lógica* 2: deducción.
   $I(U)$ = conjunto de enunciados.
   $I(\leq)$ = implicación lógica o inferencia, $\vdash$.

4. *Interpretación aritmética:* divisibilidad.
   $I(U)$ = conjunto de los enteros.
   $I(\leq)$ = es divisor de, por ejemplo: '$3 \leq 9$' se lee '3 es divisor de 9'.

5. *Interpretación geométrica*: alineación.
   $I(U)$ = puntos de una línea.
   $I(\leq)$ = a la izquierda de o coincidente con.

6. *Interpretación física:* orden térmico.
   $I(U)$ = conjunto de cuerpos.
   $I(\leq)$ = menos caliente que o tan caliente como.

7. *Interpretación política:* poder.
   $I(U)$ = conjunto de organizaciones humanas.
   $I(\leq)$ = tiene poder sobre.

8. *Interpretación en teoría de los valores:* estimación
   $I(U)$ = todos los objetos concebibles.
   $I(\leq)$ = menos valioso que o tan valioso como.

Demos ahora una caracterización general del concepto de *interpretación* de una teoría abstracta. Sea U el universo del discurso de la teoría y $P_1, P_2 \ldots P_n$ los predicados primitivos de la teoría, cada uno de los cuales se aplica a miembros del conjunto de referencia U. Sea además $I(U)$ una interpretación de U, e $I(P_1)$, $I(P_2)$, ... $I(P_n)$ interpretaciones de los predicados primitivos: todas ellas interpretaciones *admisibles*, no arbitrarias. Para que una interpretación de las primitivas sea aceptable en la ciencia factual tiene que satisfacer las condiciones siguientes. En primer lugar, la interpretación no debe ser *ad hoc*, o sea, inventada, por ejemplo para demostrar la consistencia de la teoría abstracta dada, y aislada en lo demás del resto de la ciencia. Las teorías científicas no son ejercicios de semántica. (Pero las interpretación *ad hoc* son muy útiles metateoréticamente: cf. sec. 7.6.) En segundo lugar, los símbolos interpretados tienen que *satisfacer los axiomas de la teoría*, o sea: las relaciones formales satisfechas por las primitivas tienen que valer también para sus interpretaciones. Así, si A y B son conjuntos sin especificar ("indefinidos") y la teoría abstracta estipula que $A \subset B$, entonces tiene que valer también $I(A) \subset I(B)$. En el caso de las teorías factuales no exigiremos que los axiomas interpretados sean completamente verdaderos, sino simplemente verosímiles. Todo conjunto de reglas $\{I(U), I(P_1)$ ..., $I(P_n)\}$ que satisfaga esas condiciones es una interpretación de la teoría abstracta de que se trate: es un (no el) *código* para descifrar el formalismo.

Una interpretación de una teoría abstracta se llamará un *modelo conceptual* de la misma precisamente en el caso de que los símbolos primitivos correspondan a conceptos existentes en algún contexto teorético, pero sin tener referencia real. Dicho de otro modo: un modelo conceptual es una interpretación de la teoría abstracta dada a base de conceptos que pertenecen a una teoría no abstracta. Por ejemplo, la teoría del orden parcial estricto, que pertenece al álgebra abstracta, puede interpretarse en aritmética como teoría de la

relación "menor que" entre números. Todas las interpretaciones 1-5 antes indicadas dan modelos conceptuales del mismo sistema sintáctico; y el formalismo matemático de una teoría física es un modelo conceptual o ideal de la teoría abstracta subyacente.

Consideremos ahora una teoría que sea una teoría abstracta (sin interpretar) o un modelo conceptual de una teoría abstracta, o sea, en resolución, una teoría cuyas primitivas o bien no tienen correlatos, o no los tienen más que conceptuales. Supongamos que se atribuye a las primitivas de una tal teoría significación factual y/o empírica (cf. sec. 3.5). Dicho de otro modo: supongamos que se añade a la teoría dada un conjunto de reglas de interpretación por virtud de las cuales cada primitiva se convierte en un predicado no formal, por ejemplo, en un concepto que representa alguna propiedad física. Un tal conjunto de reglas de interpretación puede ser una mezcla de reglas de designación, postulados de interpretación y refericiones (recuérdese la sec. 3.6). Las primitivas no quedarán sin más *definidas* con eso, y aún menos lo estarán operacionalmente. Quedarán *interpretadas* si eran abstractas desde el principio; y tomarán además una significación no formal *adicional* si pertenecen a un modelo conceptual, como cuando el valor numérico *m* en mecánica se interpreta como el valor de la masa de un sistema.

Cuando se atribuye a las primitivas de un formalismo una tal interpretación no formal se dice que se ha producido un *modelo factual* de dicho formalismo. Así, las interpretaciones 6-8 de las antes indicadas dan tres modelos factuales diferentes de la teoría abstracta del orden parcial. A su vez, toda teoría física puede considerarse como una interpretación factual de su formalismo matemático. Así, las varias interpretaciones físicas del esqueleto matemático de la mecánica de los quanta son otros tantos modelos factuales del mismo. Demasiado frecuentemente la interpretación no se formula de una manera explícita: se da por supuesto que el lector entiende cuál es la *interpretación mentada* del formalismo, o sea, que sabe cómo hay que "leer" en última instancia sus símbolos, o qué aplicación interesante (modelo) tiene presente el autor de la teoría abstracta. Pero esa intención puede no resultar obvia, o ser demasiado ambigua, y en este caso puede suscitarse la duda de si la teoría tiene contenido o, al menos, alguna interpretación deseada. El físico de mentalidad crítica declarará entonces que la teoría carece de significación física, o que no tiene contenido físico, lo que tal vez le lleve a reclamar acríticamente que se añada a la teoría un conjunto de "definiciones operativas" de las primitivas, lo cual es lógicamente imposible (cf. sec. 3.6).

*Por lo demás, puede ponerse en duda el que el mero enunciado de reglas de interpretación vaya a dar a un formalismo una *significación* inequívoca, como no sea en casos triviales. Lo que consiguen las reglas de interpretación es determinar posibles modelos de un formalismo. Pero como los conceptos extralógicos suelen ser vagos (recuérdese la sec. 3.1), un modelo factual suele adolecer de cierta nebulosidad. Dicho de otro modo: las reglas de interpretación pueden *sugerir* más que *fijar plenamente* las significaciones de las primitivas extralógicas. Incluso un sistema semántico, como la teoría electromagnética de Maxwell, puede no ser interpretable de un modo exacto y único. Pues las significaciones no nacen ya con todos sus requisitos, sino que crecen y evolucionan. En particular, la interpretación de una teoría científica madura en el curso del desarrollo, la aplicación y el examen crítico de la teoría. Esto se aplica a los sentidos semánticos de 'significación' (cf. secs. 2.3 y 3.6), y, a fortiori, a su sentido psicológico –que es el de "en-

tender" o "comprensión". La existencia de cierta indeterminación en cuanto a las significaciones –que es un síntoma de la inmadurez de la teoría– da razón de algunas controversias acerca de las interpretaciones de teorías recientes y tiende a mostrar que la investigación de fundamentos y la controversia al respecto, lejos de ser un lujo, debe promoverse en el interés de la maduración de la ciencia. Pero baste con esta propaganda: resumamos ahora nuestra discusión de las clases de modelo.*

Además de los casos puros, antes mencionados, de los modelos conceptuales y factuales hallamos *modelos mixtos* o teorías semiinterpretadas, que tienen su importancia en la ciencia factual. Se trata de teorías *algunos* de cuyos predicados representan propiedades reales (o presumiblemente tales), mientras que los demás predicados no reciben significación factual o empírica. Estas variables que no refieren a cosas, propiedades ni relaciones extrateoréticas reciben entonces una interpretación matemática (conceptual, por tanto). Numerosas teorías factuales de nivel alto contienen tales variables que sólo desempeñan un papel matemático. Así, por ejemplo, en la termodinámica clásica la entropía no se considera como una propiedad física, sino más bien como una variable intermedia cuya función es puramente sintáctica; lo mismo vale de los potenciales en la teoría electromagnética, y de las funciones de onda en la interpretación habitual de la mecánica de los quanta: ninguna de esas primitivas recibe significaciones inmediatamente físicas. Por eso tales teorías son modelos mixtos de las teorías abstractas subyacentes. Pero sería erróneo considerarlas sistemas sintácticos, es decir, teorías abstractas; sus universos del discurso son conjuntos de sistema físicos, y todas sus primitivas tienen por lo menos sentido matemático.

Hay un reducido –pero creciente– conjunto de teorías factuales que son modelos mixtos caracterizados por el claro predominio de las variables conceptualmente interpretadas sobre las primitivas de interpretación factual. Entre esos sistemas semiinterpretados recordaremos: (*i*) la teoría de la información, que puede aplicarse a sistemas abiertos de cualquier clase, desde los radar hasta los organismos; (*ii*) la teoría fundamental de los servomecanismos, que es la misma para los procedimientos de control eléctrico que para los de control mecánico automático; (*iii*) la teoría de redes, que puede aplicarse exactamente igual a circuitos eléctricos que a sistemas vibratorios mecánicos. Esas tres teorías pueden subsumirse a su vez bajo una teoría general de la caja negra, en la cual se formulan hipótesis y se elabora la relación más general entre una función insumo, o *input*, $I(t)$, y una función producto, o *output*, $O(t)$. En esa teoría la única primitiva factualmente interpretada es t, que representa el tiempo. El *input* I y el *output* O son símbolos que semánticamente no comprometen a nada y no se interpretan más que como variables numéricas (interpretación conceptual), Sin significación factual fija. La interpretación incompleta que caracteriza los modelos mixtos es una raíz de su generalidad, así como de su escasa contrastabilidad empírica. Y el hecho de que puedan interpretarse (aplicarse) de tantos modos diversos muestra que las fórmulas legaliformes pertenecientes a campos diversos pueden ser formalmente idénticas.

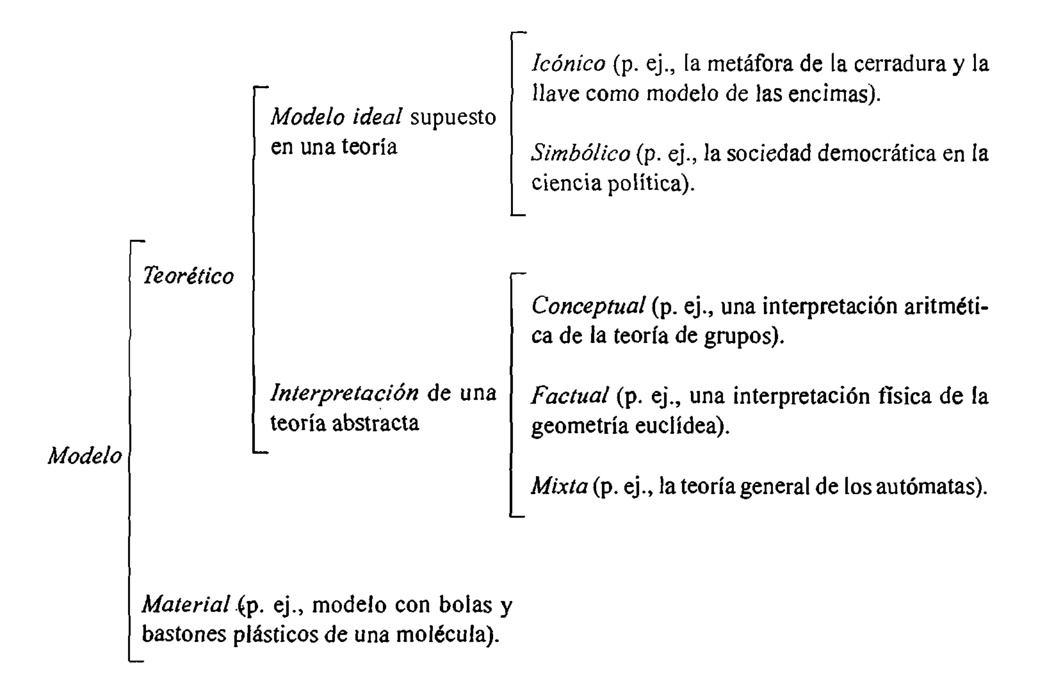
Hasta el momento hemos hablado de *modelos teoréticos.* Todos esos modelos son creaciones mentales, por adecuadamente que puedan representar objetos reales. A su vez, un sistema real puede considerarse como *modelo material* de una teoría. Así, un sistema de conexiones eléctricas puede contemplarse como modelo material o como análogo físi-

co del cálculo proposicional, y puede por tanto usarse como un auxiliar para la deducción.

La variedad de sentidos de la palabra 'modelo' puede turbar a menos que tengamos cuidado de especificar el sentido que tenemos presente. (De hecho esta ambigüedad del término 'modelo' ha confundido a numerosos epistemólogos, llevándoles a creer que los modelos que se construyen en ciencia y tecnología son modelos lógicos, o interpretaciones de teorías abstractas.) La tabla 7.1 resume los principales sentidos que hemos discutido.

Pero antes de dar un paso más conviene que nos familiaricemos con las teorías abstractas y sus interpretaciones.

TABLA 7.1. SENTIDOS DE MODELO



Problemas

7.4.1. Formular los axiomas de la teoría del orden lineal (orden parcial estricto). Mostrar que esta teoría está contenida en la teoría del orden parcial esbozada en el texto. Proponer una interpretación aritmética, otra geométrica, otra física y otra biológica. *Problema en lugar de ése*: ¿Es la teoría de conjuntos abstracta o semiabstracta? Compararla con la teoria del orden parcial.

7.4.2. Examinar la teoría general de grupos con la fundamentación siguiente:

Primitivas: un conjunto no vacío U, una operación binaria o, una operación monádica $^{-1}$, que, aplicada a un elemento cualquiera x de U, da su inverso x^{-1}, y una constante individual e, el elemento neutral.

Axiomas:

$G1$ $(x)_U(y)_U(z)_U\ [x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z]$ [7.15]

$G2$ $(x)_U(x \circ e = x)$ [7.16]

$G3$ $(x)_U(x \circ x^{-1} = e)$ [7.17]

Intentar dar otras formulaciones, por ejemplo, sustituyendo los axiomas $G2$ y $G3$ por enunciados referentes a la existencia del elemento neutral e y a los elementos inversos x^{-1}. Establecer una definición del concepto de grupo; con este objeto recordar la sec. 3.3, acerca de las llamadas definiciones postulacionales. Construir modelos conceptuales (por ejemplo, aritmético, geométrico y de teoría de conjuntos) de la teoría de grupos, así como interpretaciones factuales de la misma. Indicaciones: averiguar si la adición y la multiplicación de enteros satisfacen los axiomas de la teoría de grupos; observar si los movimientos de un punto en un plano constituyen un grupo; y estudiar el conjunto de las rotaciones de un punto de masa alrededor de un centro fijo y con ángulo variable. *Problema en lugar de ése*: Discutir la relevancia de la teoría de grupos para la epistemología, especialmente para la idea de invariancia bajo cambios de las condiciones de observación. Cf. sec. 6.5.

7.4.3. Caracterizar y ejemplificar los conceptos de teoría formal (en cuanto distinta de la factual) y de teoría abstracta (diferenciándola de la teoría interpretada). *Problema en lugar de ése*: Informar acerca de alguno de los textos siguientes: (*i*) E. V. Huntington, "The Fundamental Propositions of Algebra", reimpreso en J. W. A. Young (ed.), *Monographs on Topics of Modern Mathematics*, 1911; Nueva York, Dover, 1955, secs. II y III. (*ii*) E. V. Huntington, "The Method of Postulates", *Philosophy of Science*, *4*, 482, 1937. (*iii*) C. I. Lewis y C. H. Langford, *Symbolic Logic*, 2a. ed., Nueva York, Dover, 1959, cap. XI. (*iv*) W. y M. Kneale:, *The Development of Logic*, Oxford, Clarendon Press, 1962, cap. VI, sec. 4.

7.4.4. Una misma relación *insumo-producto* puede materializarse de infinitos modos. Por ejemplo, cualquiera de una infinidad de amplificadores puede amplificar de un modo prefijado una señal dada. ¿Qué sugiere ese hecho, aparte de que "todos los caminos llevan a Roma"? *Problema en lugar de ése*: Establecer las reglas de interpretación que se necesitan para establecer una correspondencia biunívoca entre el cálculo proposicional y la teoría cualitativa de los circuitos. Indicación: dos conexiones en serie corresponden a la conjunción binaria, y dos conexiones en paralelo a la disyunción binaria.

7.4.5. Averiguar si la preferencia (la relación "se prefiere a", o "es más valioso que") satisface los axiomas del orden parcial estricto. *Problema en lugar de ése*: Examinar el modelo material de alguna teoría científica, como el *Moniac* (el modelo hidráulico de la teoría keynesiana de la economía nacional).

7.4.6. Tomar la axiomática de la aritmética elemental establecida por G. Peano y practicar los siguientes ejercicios. (*i*) Construir la correspondiente teoría abstracta (o sea, desinterpretar esa axiomática) y formular la teoría de Peano con los símbolos del cálculo de predicados. (*ii*) Hallar dos modelos de la teoría abstracta. (*iii*) Averiguar si los axiomas de Peano caracterizan inequívocamente el concepto de número natural, o sea, si suministran una definición (contextual) del conjunto de los enteros positivos.

Para facilitar la tarea damos en lenguaje común los postulados de Peano.

$N1$ Cero es un número natural. [7.18]

$N2$ El sucesor de todo número natural es un número natural. [7.19]

$N3$ Dos números naturales diferentes no tienen el mismo sucesor. [7.20]

$N4$ Cero no es el sucesor de ningún número. [7.21]

*N*5 Si una propiedad es tal que (*i*) se aplica a cero, y (*ii*) si es verdadera de un número cualquiera entonces lo es también de su sucesor, entonces la propiedad pertenece a todo número natural. [7.22]

Obsérvese que el sistema axiomático funciona como una estipulación referente a las siguientes primitivas específicas (extralógicas): "número natural" (que es un predicado monádico), "cero" (que es una constante individual), y "el sucesor de" (que puede analizarse como predicado monádico o como relación binaria o diádica). "Cero" puede sustituirse por "uno". *Problema en lugar de ése*: ¿Son físicamente interpretables los axiomas de la teoría de conjuntos? En particular: "¿Puede haber modelos físicos de los axiomas de infinito y de elección?" Distinguir "físicamente posible" de "físicamente factible".

7.4.7. Euclides estaba convencido de que sus *Elementa* revelaban la geometría del espacio físico. Aparte de eso, y en el terreno de los hechos, ¿construyó Euclides una teoría física o más bien una teoría abstracta, o más bien un modelo conceptual de una teoría abstracta explicitada mucho más tarde? *Problema en lugar de ése*: Los partidarios del planteamiento fenomenológico sostenían, hacia 1900, que una buena teoría física es un conjunto de ecuaciones diferenciales sin hipótesis subyacentes y tal que las ecuaciones cubren los datos empíricos. Las ecuaciones diferenciales se opusieron en cambio, como solución teórica correcta, a las hipótesis atomísticas. ¿Era correcta esa contraposición?

7.4.8. Discutir el papel de la aparición de las teorías abstractas en la unificación de la ciencia al nivel sintáctico. Tener presente el caso de teorías que estudian conceptos duales, como las teorías de las relaciones $\leq$ y $\geq$, $\subset$ y $\supset$, o la suma y la sustracción de segmentos. Cada una de esas teorías se caracteriza por alguna ley de dualidad. Por ejemplo, en la teoría de los conjuntos ordenados tenemos el siguiente *principio de dualidad* (que es propiamente un metaaxioma): Todo teorema relativo a un par ordenado $<U, \leq>$, vale para su dual $<U, \geq>$, si los símbolos '$\leq$' y '$\geq$' se intercambian en el teorema. Hallar más ilustraciones de la dualidad en la geometría proyectiva y en la lógica.

7.4.9. Según un punto de vista que goza de bastante influencia, las primitivas de una teoría factual no están interpretadas: sólo los llamados términos observacionales de la teoría son símbolos interpretados, mientras que los "términos teoréticos" adquieren significación indirectamente, a través de sus relaciones con los "términos observacionales". ¿Qué tipo de significación tiene presente ese punto de vista, la significación factual o la empírica? ¿Es verdad que todas las teorías contienen conceptos observacionales? Piénsese en los conceptos de masa, intensidad de campo, evolución, lucha de clases y progreso.

7.4.10. Discutir la confusión entre modelo lógico (interpretación de una teoría abstracta) y modelo científico (teoría de un dominio estrecho de hechos) en que incurren J. Sneed, *The Logical Structure of Mathematical Physics*, Dordrecht, Reidel, 1971, y W. Stegmüller, *The Structure and Dynamics of Theories*, Nueva York, Springer, 1976.

7.5. *PROBABILIDAD: CÁLCULO, MODELOS, INTERPRETACIONES ERRÓNEAS

Nuestro segundo ejemplo de teoría abstracta será el cálculo de probabilidades. Esta teoría es de máxima importancia en la ciencia fáctica, en la tecnología y en la metaciencia: por ser abstracta, puede interpretarse (e interpretarse mal) de infinitos modos.

La teoría elemental de la probabilidad presupone la lógica elemental, la teoría de conjuntos elemental y la aritmética elemental. Una de las dos primitivas de la teoría es, como de costumbre, un conjunto de referencia no vacío, U, a cuyos miembros llamaremos $a, b, c, \ldots$ La teoría predicará algo de esos elementos no descritos y de las colecciones que pueden formar. Si $U = \{a, b\}$, los subconjuntos de U son $\{a\}$, $\{b\}$ y el propio U. (No contamos más que los subconjuntos no vacíos de U.) Llamando $S(U)$ al conjunto de todos los subconjuntos no vacíos de U, tenemos en el caso particular del conjunto de dos miembros, $S(U) = \{\{a\}, \{b\}, \{a, b\}, \{U\}\}$. Si U tiene tres elementos en vez de dos, $S(U)$ constará de $7 = 2^3 - 1$ conjuntos no vacíos. En general, el conjunto de todos los subconjuntos no vacíos del conjunto-básico U se llamará $S(U) = \{A, B, C, \ldots\}$. La cardinalidad o numerosidad de una tal colección de subconjuntos de un conjunto básico U de N elementos será $2^N - 1$. Puede ser útil para interpretar los elementos de U o sus subconjuntos como acontecimientos posibles de una clase. Por ejemplo, podemos concebir A como el acontecimiento A = <cara, cruz> en dos lanzamientos sucesivos de una moneda. Pero como nuestra intención es construir una teoría abstracta, cualquier interpretación de ese tipo tiene que considerarse como mera *ayuda heurística*: contenidos bien determinados no se introducen en la concha más que cuando ésta se encuentra ya bien construida.

La otra primitiva específica o extralógica de la teoría es una función de conjuntos, P, "definida" (dada) sobre $S(U)$. (Podemos concebir $P(A)$ como el peso de A respecto de S, siendo A una parte de un cuerpo S. Pero tampoco esta interpretación provisional es más que un expediente heurístico.) La función de conjuntos, o medida de la probabilidad, P, establece una correspondencia entre el elemento $A \in S(U)$ y un número real p que se encuentra entre 0 y 1 (cf. fig. 7.7). Dicho de otro modo: los subconjuntos de U quedan representados por números del intervalo $[0,1]$; el número p correspondiente al subconjunto A es el valor numérico de la función P; o sea: $P(A) = p$. La estructura del concepto de probabilidad es pues la de una función de una variable individual cuyo campo son los subconjuntos no vacíos del conjunto básico, y una variable numérica cuyo campo es el intervalo $[0,1]$ y que es la imagen de U bajo p.

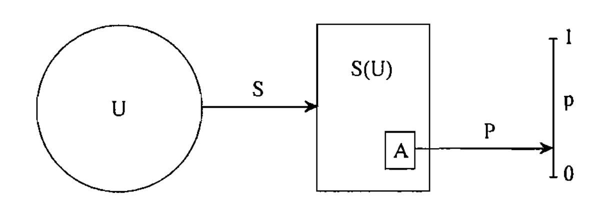


FIGURA 7.7. Representación de los subconjuntos de U en el intervalo básico de números reales.

Pero todo eso son aspectos extrasistemáticos. La base de la teoría elemental abstracta de la probabilidad se reduce a la siguiente estructura (A. N. Kolmogorov).

Primitivas: U, un conjunto no vacío; P, "definida" sobre $S(U)$, y que toma valores reales.

Axiomas:

$P1$ $(A)_{S(U)}$ $[P(A) \geq O]$; o sea, $P(A) = p$ no es número negativo [7.23]
$P2$ $P(U) = 1$; o sea, la probabilidad del conjunto básico es igual a 1. [7.24]
$P3$ $(A)_{S(U)}\,(B)_{S(U)}$ $[A \cap B = \varnothing \rightarrow P(A \cup B) = P(A) + P(B)]$; [7.25]

o sea: la probabilidad de la medida de la unión de dos conjuntos que no tengan elementos comunes es igual a la suma de sus medidas separadas.

Los enunciados que acompañan a las anteriores fórmulas se dan sólo con fines didácticos: no pertenecen a la teoría axiomática. El símbolo '$(A)_{S(U)}$' debe leerse: 'para todo A de la colección de subconjuntos no vacíos de U'. (Dicho sea de paso, la presencia de variables de clases, como A, cuyo campo es el conjunto $S(U)$, muestra que la teoría elemental de la probabilidad no es elemental en sentido lógico.)

Vamos a derivar ahora unos pocos teoremas importantes que son útiles en la teoría de la inferencia no deductiva. Prescindiremos, como suele hacerse, de los cuantificadores: como todas nuestras premisas son universales, podemos pasar libremente de *todo* a *cualquiera* y volver a *todo.* Las derivaciones serán *formales*, en el sentido de que no utilizarán interpretaciones específicas a base de monedas, urnas, bolas u otros expedientes heurísticos.

$T1$ La probabilidad del complemento es igual al complemento de la probabilidad

$$P(\bar{A}) = 1 - P(A) \qquad [7.26]$$

Demostración. De $P2$ y la definición (implícita) de conjunto complementario, a saber, $\bar{A} \cup A = U$, obtenemos $P(\bar{A} \cup A) = 1$. Aplicando esto a $P3$ obtenemos $P(\bar{A} \cup A) =$ $= P(\bar{A}) + P(A) = 1$, lo cual puede escribirse en la forma [7.26].

$T2$ El valor numérico de una probabilidad se encuentra entre 0 y 1:

$$0 \leq= P(A) \leq=1 \qquad [7.27]$$

Demostración. La primera desigualdad se sigue de $P1$, que puede escribirse precisamente así; $0 \leq= P(A)$. Para demostrar la segunda desigualdad examinamos el Teorema 1. Por $P1$, $P(\bar{A}) \geq= 0$, por tanto, el segundo miembro del Teorema 1, $1 - P(A)$, es también no-negativo. O sea, $P(A) \leq 1$. q. e. d.

$T3$ La medida de la probabilidad de la unión de dos conjuntos cualesquiera es igual a la suma de sus medidas separadas menos la medida de su intersección [que si no se sustrajera se contaría dos veces]:

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \qquad [7.28]$$

Demostración. Descomponemos B en dos conjuntos disyuntos, del modo siguiente: el conjunto de los elementos que pertenecen a A y B, y el conjunto de los elementos que pertenecen a B, pero *no* a A: $B = (A \cap B) \cup (\bar{A} \cap B)$ (cf. fig. 7.8). Por último, introducimos esta división en los argumentos de $P(B)$ y $P(A \cup B)$ y aplicamos $P3$:

$$P(B) = P[(A \cap B) \cup (\bar{A} \cap B)] = P(A \cap B) + P(\bar{A} \cap B)$$
$$P(A \cup B) = P\,[A \cup [(A \cap B) \cup (\bar{A} \cap B)]\,] = P[\,[A \cup (A \cap B)] \cup (\bar{A} \cap B)]$$
$$= P[A \cup (\bar{A} \cap B)]$$
$$= P(A) + P(\bar{A} \cap B)$$

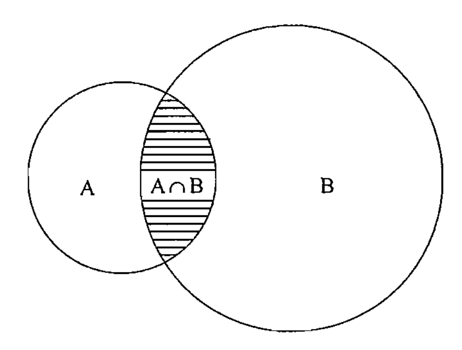


FIGURA 7.8. Descomposición de B en dos conjuntos disyuntos para poder aplicar $P3$. Esta figura es un mero expediente pedagógico extrasistemático: contemplarla con recelo.

Se ha utilizado la igualdad "$A \cup (A \cap B) = A$", que se sigue de la teoría de conjuntos y está representada en la fig. 7.8. Sustrayendo las dos últimas ecuaciones eliminamos $P(\bar{A} \cap B)$, y disponiendo adecuadamente los términos restantes obtenemos el Teorema 3.

Observemos que, aunque en la derivación no hemos usado más que los axiomas $P1$-$P3$ *y* relaciones de la teoría de conjuntos y la aritmética elementales, estas relaciones no estaban sugeridas por la base axiomática: son premisas adicionales, tomadas de teorías presupuestas por el cálculo de probabilidades. La elección de esas premisas adicionales se inspira en los resultados deseados, y no está controlada más que por la siguiente regla: "Ensayar toda premisa que pueda ser relevante para la demostración, siempre que la premisa pertenezca a alguna de las teorías presupuestas por la teoría estudiada." En resolución: los teoremas no "fluyen" de los axiomas y las definiciones mediante la aplicación mecánica de reglas de inferencia: la deducción es una actividad más oportunista que de principios, y las reglas de inferencia no son tanto reglas que *dirigen* la deducción cuanto reglas que la *convalidan* o justifican: permiten unas cosas y prohíben otras, pero no dicen cómo proceder. En segundo lugar, debe observarse que el Teorema 3 es más general que el axioma $P3$, el cual vale sólo en el caso especial $A \cap B = \varnothing$. La razón de que un teorema pueda ser más fuerte que un axioma de la misma teoría es el hecho ya visto, a saber, que detrás de los axiomas $P1$-$P3$ se encuentran la teoría de conjuntos y la aritmética elementales. Situaciones de este tipo pueden surgir fácilmente en las teorías

factuales formuladas con la ayuda de teorías matemáticas: axiomas relativamente modestos dan lugar a teoremas fuertes en una teoría apoyada en una rica estructura matemática. Aprovechar esta ventaja es una forma de aplicar la técnica del cuclillo (cf. sec. 8.2), utilizando nidos conceptuales ya listos.

Vamos a desarrollar ahora otra porción de la teoría de la probabilidad introduciendo el concepto de probabilidad condicional. Lo hacemos mediante la siguiente

Df. 1 (*probabilidad condicional*)

$$\text{Si } P(B) \neq 0, \text{ entonces } P(A/B) =_{\text{df}} \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \qquad [7.29]$$

'$P(A/B)$' se lee: 'la probabilidad (condicional) de A dado B'. Ahora enunciamos el

T4 Si $P(A) \neq 0$ y $P(B) \neq 0$, entonces

$$P(A \cap B) = P(A/B) \cdot P(B) = P(B/A) \cdot P(A) \qquad [7.30]$$

Demostración. La primera igualdad es una consecuencia inmediata (un corolario) de Df. 1. La segunda igualdad se obtiene de Df. 1 intercambiando A y B. Efectivamente: si en Df. 1 sustituimos B por A y recordamos que $A \cap B = B \cap A$, obtenemos

$$\text{Si } P(A) \neq 0, \text{ entonces } P(B/A) =_{\text{df}} \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \qquad [7.31]$$

lo cual da ya la igualdad deseada.

T5 (*Teorema de Bayes*). Si $P(A) \neq 0$ y $P(B) \neq 0$, entonces

$$P(A/B) = \frac{P(A) \cdot P(B/A)}{P(B)} \qquad [7.32]$$

Este teorema se sigue inmediatamente del Teorema 4 sin más que eliminar el primer miembro de éste. El teorema de Bayes es de importancia central en la teoría de la inferencia plausible, en la cual A y B se interpretan como conjuntos de proposiciones.

Df. 2 (*irrelevancia*). B es irrelevante para A si y sólo si

$$P(A/B) = P(A)$$

Intercambiando A con B se obtiene la siguiente proposición dual:

Df. 2' (*irrelevancia*). A es irrelevante para B si y sólo si

$$P(B/A) = P(B)$$

Df. 3 (*independencia*). A es independiente de B si y sólo si B es irrelevante para A o A es irrelevante para B. Brevemente:

$$A \text{ es independiente de } B =_{df} [P(A/B) = P(A) \vee P(B/A) = P(B)] \quad [7.33]$$

T6 Si A es independiente de B, entonces B es independiente de A [o sea, la relación de independencia es simétrica].

Demostración. Sustituir B por A en *Df.* 3 y recordar la conmutatividad de la disyunción.

T7 Si A es independiente de B, entonces

$$P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B) \quad [7.34]$$

Demostración. Aplicar la *Df.* 3 al Teorema 4.

T8 Si A es independiente de B, entonces

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B) \quad [7.35]$$

Demostración. Sustituir en Teorema 3 según Teorema 7.

Hasta el momento hemos estudiado la teoría *abstracta* de la probabilidad. En la mayoría de los libros de texto sobre probabilidad se mezclan fraternalmente una o más de las siguientes interpretaciones de este concepto, que llevan a los correspondientes modelos.

1. *Interpretación semántica*
   $I(U)$ = conjunto de todas las proposiciones de una clase dada.
   $I[P(A)]$ = Probabilidad de que la(s) proposición(es) A sea(n) verdadera(s).

2. *Interpretación estadística*
   $I(U)$ = conjunto de datos empíricos de una clase dada.
   $I[P(A)]$ = frecuencia relativa de los datos (o el dato) A en el universo de datos U.

3. *Interpretación física 1*
   $I(U)$ = conjunto de acontecimientos de una clase dada.
   $I[P(A)]$ = probabilidad del (los) acontecimiento(s) A.

4. *Interpretación física 2*
   $I(U)$ = conjunto de acontecimientos de una clase dada.
   $I[P(A)]$ = propensión o disposición a ocurrir del (los) acontecimiento(s) A.

5. *Interpretación psicológica*
   $I(U)$ = conjunto de juicios de una clase dada (por ejemplo, sobre los posibles resultados de una acción).
   $I[P(A)]$ = credibilidad (o grado de confianza o certeza) del (los) juicio(s) A.

6. *Interpretación ontológica*
$I(U)$ = conjunto de las posibilidades (hechos posibles) de una clase dada.
$I[P(A)]$ = peso de la posibilidad de A.

Las interpretaciones semántica y estadística dan modelos conceptuales del cálculo de probabilidades; las restantes interpretaciones antes indicadas dan modelos factuales del mismo (cf. sec. 7.4). La interpretación ontológica puede parecer una generalización de la interpretación física por la disposición; con esta interpretación, la teoría de la probabilidad se convierte en la teoría cuantitativa de la posibilidad, que debe distinguirse de las teorías cualitativas de este concepto, como son los varios sistemas de lógica modal. Las interpretaciones ontológicas y físicas contemplan la probabilidad como una propiedad objetiva de las cosas –o, más bien, como propiedades objetivas de conjuntos o secuencias de hechos–, mientras que la interpretación psicológica, al hacer de la probabilidad el complemento de la incertidumbre, la considera como un atributo subjetivo. Las probabilidades subjetivas, tan a menudo confundidas con las objetivas, son conceptual y numéricamente diferentes de ellas: rara vez se conoce con completa exactitud la probabilidad de un hecho dado, y, por tanto, ésta no es idéntica con el grado de credibilidad racional del juicio que expresa ese hecho; si no hubiera tales diferencias entre las probabilidades objetivas y las subjetivas nadie jugaría a los juegos de azar.

Son, pues, posibles varios modelos de la teoría abstracta de la probabilidad. Por tanto, hablando estrictamente, la cuestión '¿Qué es la probabilidad?' no es inequívoca más que en el caso de que no se dé ninguna interpretación o en el caso de que se indique una interpretación determinada. En el primer caso, puede darse una respuesta correcta por medio de la siguiente *Definición* 4: Una función de conjuntos, P, definida para un conjunto total, U, es una (medida de) *probabilidad* si y sólo si satisface los anteriores postulados $P1$-$P3$. Si se objeta que esta respuesta no arroja luz alguna sobre la *significación* del término 'probabilidad', puede aceptarse adecuadamente la objeción diciendo: efectivamente, pero es que los símbolos abstractos carecen de definición, y si se les atribuyen significaciones determinadas se ve que pueden aparecer diferentes contenidos. Consiguientemente, en vez de preguntar '¿Cuál es *la* significación de 'P'?' hay que preguntar: '¿Qué significaciones han sido de hecho correctamente atribuidas a 'P' hasta el momento?'

La restricción a interpretaciones correctas basta para descartar algunas interpretaciones erróneas bastante difundidas, como la teoría probabilitaria de la verdad. Esta teoría, sugerida por algunos lenguajes ordinarios –especialmente el alemán– en los cuales 'probabilidad' es sinónimo de 'verosimilitud', identifica el grado de verdad de un enunciado con la probabilidad de que ese enunciado sea *verdadero*. Como el concepto de verdad es así un ingrediente del concepto de probabilidad, identificar la probabilidad con el grado de verdad es cometer un círculo vicioso. (Esto queda de manifiesto cuando se simboliza la idea: $V(s) =_{df} P\ [V(s) = 1]$. La noción de verdad, que se supone así definida –ser el definiendum– reaparece en el definiens.) El concepto de probabilidad puede servir para dilucidar bastantes otros conceptos (cf. sec. 3.2), pero no es una primitiva universal. En particular, no puede usarse para dilucidar la noción de verdad (parcial), porque este concepto es lógicamente anterior al concepto de enunciado probabilitario: tenemos que po-

seer un concepto de verdad que sea independiente si queremos saber cuál es el valor veritativo de un enunciado probabilitario dado.

La distinción entre la teoría de la probabilidad y sus varias interpretaciones posibles disuelve la vieja –aunque todavía viva– controversia entre los sostenedores de la interpretación subjetivista de la probabilidad como grado de la creencia y los partidarios de la interpretación empirista de la probabilidad como frecuencia relativa. Los subjetivistas y los empiristas hablan necesariamente de cosas distintas, pues están defendiendo interpretaciones distintas posibles de la teoría abstracta de la probabilidad. Ambos contendientes yerran al pretender que la interpretación correcta es la suya, y también yerran los autores, más tolerantes, que admiten dos modelos posibles de la probabilidad (o dos conceptos de la probabilidad). El reconocimiento de la posibilidad de cierto número de interpretaciones del cálculo abstracto de la probabilidad disuelve una confusa disputa y estimula, además, la búsqueda de ulteriores interpretaciones de una misma estructura vacía; por encima de todo eso, nos confirma en nuestra fe en la unidad de la teoría matemática de la probabilidad, unidad ensombrecida por la controversia.

Pero una interpretación *posible* no es necesariamente *verdadera* respecto de los hechos ni, por tanto, aceptable. Hemos visto antes (sec. 7.4) que una interpretación factual de un sistema axiomático abstracto tiene que satisfacer los mismos axiomas de la teoría abstracta (aproximadamente al menos). Ahora bien: la interpretación de la probabilidad por la idea de frecuencia relativa ha sido confirmada satisfactoriamente: las frecuencias se combinan efectivamente como probabilidades, siempre que se admitan fluctuaciones típicas. (Además, el cálculo de probabilidades se construyó inicialmente como una idealización de generalizaciones sobre frecuencia.) Por otro lado, no sabemos aún si las incertidumbres subjetivamente estimadas satisfacen efectivamente los axiomas del cálculo de probabilidades, como prematuramente se dio por supuesto. Mientras no se disponga de más investigación de naturaleza psicológica, seguirá incierta la medida de la probabilidad de la certeza o la creencia. En resolución: la interpretación psicológica de la probabilidad da un modelo posible del cálculo de probabilidades; pero la cuestión de si es factualmente verdadera es cuestión abierta que tiene que zanjar la psicología. Por tanto, de los dos contrarios injustificados, el subjetivista y el frecuentista, el primero es el menos justificado de los dos.

Volvamos ahora al problema general de los componentes de una teoría interpretada (sistema semántico). Sin tener en cuenta los presupuestos de la teoría, su base consta de (*i*) una lista de *primitivas específicas*; (*ii*) una lista de reglas de *interpretación* (o de correspondencia), que atribuyen significación a algunas de las primitivas (teoría parcialmente interpretada) o a todas ellas (teoría plenamente interpretada), y (*iii*) una lista de *axiomas* (supuestos no demostrados), fórmulas básicas que interrelacionan las primitivas. Así como una teoría abstracta es un conjunto de supuestos parcialmente ordenado por la relación $\vdash$ de deducibilidad, una teoría interpretada es un conjunto de supuestos parcialmente ordenado por $\vdash$ y con un contenido dado por un conjunto I_n de reglas de interpretación. Esquematizando:

Teoría:
- Estructura $E = \langle A, \vdash \rangle$ *sistema sintáctico o teoría abstracta*
- Modelo $M_n(E) = \langle A, I_n, \vdash \rangle$ *sistema semántico o teoría interpretada*

Hay tantos modelos teoréticos $M_n(E)$ de una estructura abstracta dada, E, cuantos conjuntos, I_n de reglas de interpretación (o correspondencia) de los símbolos primitivos. Así, un solo conjunto de ecuaciones puede recurrir en los más varios campos; o sea: una misma estructura puede recibir toda una variedad de contenidos, razón por la cual todos los científicos deberían aprender más o menos la misma matemática.

Aún más: en una teoría dada, un mismo símbolo puede recibir *dos interpretaciones factuales diferentes*, una objetiva y otra operacional u operativa. Así, el físico atómico tiene que distinguir entre un símbolo referente a un sistema no perturbado por operaciones de medición (por ejemplo, un átomo en estado estacionario) y un símbolo referente a un sistema profundamente perturbado por tales operaciones (por ejemplo, el mismo átomo bombardeado por rayos X). En el primer caso el símbolo referirá a una propiedad de un objeto libre; en el último, el mismo símbolo referirá a una propiedad del "mismo" objeto acoplado con un aparato de medición, o sea, a un objeto diferente. En general, diremos que se impone a un símbolo una *interpretación objetiva* si se establece una correspondencia entre el símbolo y una propiedad de un sistema real, independientemente de las condiciones de contrastación. Y diremos que un símbolo adquiere una *interpretación operacional* u operativa si se establece una correspondencia entre el símbolo y resultados de una operación, actual o posible, arbitrada para observar o medir "la misma" propiedad "del mismo" sistema real. Las dos interpretaciones confieren significaciones factuales al símbolo, y las dos pueden asignársele mientras no se confundan.

La anterior distinción se hace ineludible en los casos de los objetos atómicos y subatómicos y de los organismos: en esos casos los sistemas son perturbables por las operaciones de observación o medición. Así, por ejemplo, una partícula microscópica se desviará de su trayectoria espontánea por la luz destinada a localizarla, y la presión sanguínea de un paciente puede aumentar por la mera conciencia de que se la van a medir. Dicho brevemente: un objeto en interacción con nuestros medios de observación puede ser *objetivamente* diferente del objeto libre. La diferencia puede en principio explicarse por la teoría si dicha interacción se incluye en ella: de este modo puede contrastarse empíricamente nuestra imagen del objeto libre, aunque no tengamos ningún acceso empírico a los objetos libres.

La distinción entre la interpretación objetiva y la interpretación operacional de un símbolo teorético no tiene sentido en el contexto del operativismo, para el cual es un sinsentido hablar de objetos libres en el sentido de objetos independientes del operador. Pero esto no tiene por qué apartarnos de la distinción, pues el operativismo se debe a una confusión de la referencia con la evidencia y de la medición con la definición (cf. secs. 3.5 a 3.8). Una distinción imprecisa entre significación objetiva y significación operacional puede dar lugar a confusiones y hasta a inconsistencias semánticas. De acuerdo con la sección 7.2 y con lo que acabamos de ver, podemos decir que una teoría es *semánticamente inconsistente* si se producen en ella alteraciones de la significación, como ocurre cuando un símbolo recibe primero una significación objetiva y de repente se pasa a interpretarlo operacionalmente. Dicho de otro modo: una teoría es semánticamente inconsistente si contiene enunciados con conceptos que no se encuentren entre las primitivas declaradas de la teoría ni estén definidos sobre la base de éstas, sino introducidos de contrabando en la teoría.

*Las interpretaciones corrientes de la teoría de los quanta presentan un defecto de inconsistencia semántica. En efecto; se suele empezar considerando un objeto que existe autónomamente, como un átomo de hidrógeno en el interior del sol, y se concluye reinterpretando las consecuencias de ese punto de partida en base a la idea de interacciones entre el objeto dado (por ejemplo, el distante átomo) y un expediente para la medición, o hasta la inteligencia del operador. Al comienzo no se había supuesto ninguna interacción de ese tipo, ni sus subsiguientes perturbaciones, como resulta claramente del examen de los supuestos iniciales, los cuales no contienen más que variables referentes al objeto mismo, y ninguna que especificara la composición, el estado y el modo de acción del aparato de medición. Estos datos, y algunas veces incluso la consciencia del operador, se introducen de contrabando en la interpretación de las consecuencias lógicas de las fórmulas iniciales. No puede sorprender el que esos desplazamientos de la significación promuevan una caótica proliferación de opiniones sobre la teoría de los quanta, desde el realismo ingenuo hasta el espiritualismo. Si se adopta una interpretación unitaria de la teoría de los quanta sobre la base de las operaciones de laboratorio (preparación, observación y medición), entonces hay que reconocer que esa teoría no se aplicará a objetos de existencia autónoma, tales como átomos no sometidos a esas operaciones. Pero hasta el momento no se ha presentado nunca una interpretación de esa consistencia. (Esa interpretación tendría que contener desde el principio la consideración de los dispositivos de medición, y tendría que prescindir totalmente de términos que, como 'estado estacionario', no pueden tener interpretación operacional, sino sólo objetiva.) Aún más: nadie parece dispuesto a renunciar a la aplicación de la teoría de los quanta a campos externos al laboratorio, como la astrofísica, la cual, en definitiva, no es sino la física de los objetos celestes. Hay que poner el cartel que anuncie: Se busca una interpretación semánticamente consistente y plenamente física de la mecánica de los quanta que pueda en principio aplicarse tanto a objetos autónomos como –*mutatis mutandis*– a objetos sometidos a observación, y tal que los últimos puedan considerarse como simples sistemas físicos más, en interacción con macro-objetos, de un modo puramente físico, que no complique en esas relaciones la mente del observador.

Observemos en seguida que la voluntad de obtener una interpretación semánticamente consistente de la teoría de los quanta no tiene nada que ver con el deseo de eliminar los rasgos estocásticos de la teoría ni con el capricho de contemplar modelos icónicos (gráficos o mecánicos) de la misma. Hemos aprendido ya a vivir contando con el azar; hemos descubierto algunas de sus leyes y hemos llegado, consiguientemente, a darnos cuenta de que el azar no es el caos. Sería sin duda interesante poder analizar las leyes estocásticas de la mecánica de los quanta sobre la base de leyes no probabilísticas que se refirieran a acontecimientos de nivel más profundo; pero no tenemos derecho a suponer que esa posibilidad esté garantizada ni tampoco –y por encima de todo– deberíamos considerarla, si llegara a realizarse, como un análisis conclusivo de todos los análisis. En cuanto al deseo de visualizaciones intuitivas, debemos recordar que no tenemos experiencia sensible de la mayoría de las cosas, y que toda la finalidad de las teorías atómicas consiste en explicar lo perceptible por lo que no es perceptible. Aún más: aunque pudiera darse una interpretación gráfica de algunos rasgos de una teoría, esa interpretación no tendría por qué ser icónica o fotográfica, sino que podría perfectamente ser simbólica, no figurativa. Una

interpretación visualizable de un conjunto de símbolos puede ser simplemente un útil expediente psicológico (heurístico), y todo lo que debemos exigir de ella es que sea consistente y eficaz.

Pero si los correlatos de la teoría son sistemas espaciotemporales, no debe sorprendernos el que *pueda* darse una imagen espacial más o menos nebulosa de la misma: por lo menos, no debemos excluir la *búsqueda* de una tal imagen sólo porque los filósofos convencionalistas proclamen que una teoría científica no es más que un sistema, simbólico para la previsión o predicción. Aún más: no porque fracase una búsqueda de tales imágenes espaciotemporales (aunque simbólicas) debemos concluir que esas imágenes son imposibles por principio. Así, por ejemplo, el fallo de la imagen corpuscular o de la imagen ondulatoria en la representación adecuada de objetos del nivel atómico no prueba el fracaso de otras imágenes y, consecuentemente, no cierra la búsqueda de las mismas. Los programas de investigación pueden fracasar sin ser estériles, puesto que los hombres aprendemos de los fracasos. En cambio, la dogmática prohibición de emprender ciertos programas de investigación –por ejemplo, porque prometen utilidad práctica o porque no concuerdan con determinadas tesis filosófica– es peor que cualquier número de fracasos, porque limita la libertad de investigación, sin la cual la ciencia se agosta mortalmente.*

Concluyamos. Toda teoría abstracta, o estructura, puede interpretarse de varios modos, parcial o plenamente. A la inversa, si se despoja a una teoría de las reglas de interpretación que le confieren un contenido, queda un esquema puramente sintáctico. La interpretación más simple que puede darse a una teoría abstracta consiste en considerar los objetos de la teoría (los miembros del universo del discurso *U*) como números naturales; toda estructura sintácticamente consistente permite una tal interpretación que da lo que se llama un *modelo numerable*. En vez de, o además de ese modelo conceptual puede construirse un modelo factual si se añaden las reglas de interpretación adecuadas (refericiones y reglas semánticas), pero no toda interpretación es aceptable. Para que una interpretación sea adecuada y, por tanto, aceptable tiene que no ser *ad hoc* (artificial), tiene que satisfacer (aunque no sea más que aproximadamente) los supuestos iniciales de la teoría y tiene que satisfacer la condición de cierre semántico, lo cual es necesario para evitar inconsistencias semánticas (lenguaje ambiguo). Sólo cumplidas esas condiciones puede someterse a contrastación una teoría interpretada (parcial o plenamente); y, como es natural, sólo teorías favorablemente contrastadas son candidatas a la verdad (parcial).

Problemas

7.5.1. Construir un modelo matemático (probabilista) de la secuencia de acontecimientos físicos que ocurren cuando se lanzan simultáneamente tres monedas cierto número de veces. Construir la clase de referencia, constituida por acontecimientos como $\langle C, X, C\rangle$, y computar las probabilidades de los subconjuntos siguientes: (*i*) el conjunto en el cual sale al menos una cara (*C*); (*ii*) el conjunto en el cual salen al menos dos cruces (*X*); (*iii*) la unión de (*i*) y (*ii*); (*iv*) la intersección de (*i*) y (*ii*). Por último, mencionar algunos aspectos reales despreciados en la construcción del modelo.

7.5.2. Supongamos que tomamos una moneda normal y la lanzamos. La probabilidad de obtener "cara" en cada lanzamiento al azar es de 1/2. ¿Es esta probabilidad (*i*) una propiedad física del procedimiento de lanzamiento de la moneda, (*ii*) una estimación subjetiva del acontecimiento, o (*iii*) ambas cosas a la vez? ¿Y es cada resultado particular ("cara" o "cruz") relevante para el valor constante de la probabilidad, 1/2? O sea, cuando sale "cara", ¿nos obliga ese resultado a cambiar el valor de la probabilidad de 1/2 a 1? Caso de respuesta negativa: ¿por qué? *Problema en lugar de ése*: ¿Son los enunciados probabilitarios menos ciertos que los que no son probabilitarios? O sea: ¿implica la probabilidad incertidumbre?

7.5.3. Determinar si el siguiente es un caso de (*i*) inducción, (*ii*) control estadístico de hipótesis, o (*iii*) uso de la teoría de la probabilidad como matriz para la concepción de hipótesis. Conocimiento factual básico: una urna contiene 7 bolas. Problema: averiguar la composición más probable de la urna. Observación disponible: extracción al azar con reposición de la bola en la urna después de cada extracción. Supongamos, por concretar, que tres extracciones sucesivas han dado 2 bolas negras y 1 de color. Como hay un total de 7 bolas, dos de las cuales por lo menos son negras y una de color, las hipótesis posibles son:

h_1 = "La urna contiene 2 bolas negras y 5 de color."
h_2 = "La urna contiene 3 bolas negras y 4 de color."
h_3 = "La urna contiene 4 bolas negras y 3 de color"
h_4 = "La urna contiene 5 bolas negras y 2 de color."
h_5 = "La urna contiene 6 bolas negras y 1 de color."

7.5.4. Existe la tendencia a considerar todo porcentaje como la contrapartida empírica de una probabilidad. ¿Es realmente todo porcentaje interpretable como el valor medido de una probabilidad, o es necesario para una tal interpretación la satisfacción de ciertas condiciones? Si este último es el caso, ¿cuáles son esas condiciones?

7.5.5. El uso en física de la frase 'valor de la expectativa' (que en realidad expresa la media estimada), ¿nos obliga a admitir la interpretación subjetivista de la probabilidad?

7.5.6. Discutir las siguientes tesis sobre la teoría de la probabilidad y la teoría estadística (estadística matemática). (*i*) La teoría estadística es una rama de la teoría de la probabilidad, la cual, a su vez, es una rama de la teoría de la medición. (*ii*) La teoría de la probabilidad es idéntica con la teoría estadística, la cual es a su vez una ciencia natural (la matemática de los fenómenos de masa. (*iii*) La teoría de la probabilidad es una teoría matemática, y la teoría estadística es una aplicación de la teoría de la probabilidad a problemas científicos que requieren el uso de modelos estocásticos, la aplicación se obtiene interpretando 'probabilidad' como frecuencia relativa en una secuencia casual.

7.5.7. ¿Nos obliga la *interpretación* de la probabilidad como frecuencia relativa a admitir la *definición* de la probabilidad como el límite de una frecuencia? ¿Es matemáticamente sostenible una tal definición? J. Ville, *Étude critique de la notion de collectif*, París, Gauthier-Villars, 1939; M. Fréchet, *Les mathématiques et le concret*, París, Presses Universitaires de France, 1946, y M. Bunge, "Two faces and three masks of probability", en E. Agazzi (comp.), *Probability in the Sciences*, Dordrecht, Kluwer, 1988.

7.5.8. Se toma a menudo como dado que la teoría de la probabilidad es una clase de lógica (la "lógica del azar") y, más precisamente, una lógica más general que la lógica ordinaria de dos valores: así se afirma que la teoría de la probabilidad es una lógica multivalorada, con una infinidad de valores veritativos entre la falsedad simple ($p = 0$) y la verdad simple ($p = 1$). Examinar esa opinión. En particular, determinar si el cálculo de probabilidades no usa la lógica ordinaria (de dos valores) y si constituye una dilucidación adecuada del concepto de grado de verdad. Cf. M. Bunge, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

7.5.9. Supongamos que traemos un determinado microbio al aula. La probabilidad de que el microbio esté en el aula es entonces igual a la unidad. Pidamos ahora a alguien que busque el microbio. La probabilidad de que esa persona *encuentre* el microbio, ¿será igual a la probabilidad de que el microbio *esté presente* en el aula? Entiéndase esto como un ejercicio de epistemología que apunta ya al problema siguiente. Dicho sea de paso, el problema puede formularse y resolverse rigurosamente en el marco de la teoría de la investigación o búsqueda, que es una rama de la investigación operativa. Cf., por ejemplo, J. De Guenin, "Optimum Distribution of Effort", *Operations Research*, *9*, 1, 1961.

7.5.10. En microfísica, la posición de una partícula se representa por una variable aleatoria, esto es, una variable cuyos valores son probabilidades. En la literatura física se encuentran frases como las siguientes: (*i*) 'La probabilidad de que el electrón *se encuentre* en el intervalo $[x, x + dx]$ es igual a '$\rho(x)dx$', y (*ii*) 'La probabilidad de que *se encuentre* el electrón en el intervalo $[x, dx]$ cuando *se mide* su posición es igual a $\rho(x)dx$'. ¿Son esas dos frases equivalentes? ¿Pueden ser conceptual y numéricamente idénticas esas dos probabilidades? ¿Pertenecen los dos problemas –el de calcular la probabilidad de la presencia efectiva y el de calcular la probabilidad del hallazgo– al mismo sistema de problemas? Indicación: Recordar las diferencias entre las interpretaciones objetiva y operacional de un mismo símbolo, distinción esbozada en el texto, y recordar también el problema 7.5.9. *Problema en lugar de ése*: Algunos experimentos indican que la relación entre probabilidades subjetivas y objetivas es la ley psicofísica de Stevens (problema 5.4.10). Aplíquese esta hipótesis al caso de dos sucesos aleatorios mutuamente disjuntos (probabilidad total $= p_1 + p_2$) y averígüese la consecuencia para la interpretación subjetivista (bayesiana) de la probabilidad.

7.6. *DESIDERATA FORMALES

Terminaremos este capítulo repasando los requisitos formales que debe satisfacer una teoría perfecta: consistencia formal (interna y externa), independencia de las primitivas e independencia de los axiomas. Expondremos y estimaremos estos desiderata.

La consistencia formal interna es el desiderátum de mayor importancia. Se dice que un conjunto de fórmulas es *formalmente consistente* si y sólo si no contiene contradicciones. O lo que es igual: un conjunto de fórmulas es formalmente inconsistente si y sólo si contiene una fórmula y su contradictoria y, consiguientemente, la conjunción de las dos, o sea, una autocontradicción. Por ejemplo, el conjunto de fórmulas $x + y = z, x - y = z > 0$ es inconsistente, porque restando la segunda de la primera obtenemos $y = 0$, que contradice la tercera. La consistencia puede conseguirse en este caso abandonando la tercera fórmula. Generalmente la consecución de la consistencia requiere más esfuerzo; y hay quien no la consigue nunca.

¿Por qué apreciamos la consistencia formal? Porque la inconsistencia, o sea, la contradicción, produce una secuencia infinita de fórmulas, verdaderas y falsas; efectivamente, por el teorema [7.4] una falsedad lógica implica cualquier cosa. Si se permite que quede una contradicción en un conjunto de fórmulas, entonces (*i*) se desdibuja la distinción entre verdad por derivación y falsedad por derivación, y (*ii*) cualquier información empírica puede contar como evidencia favorable para una hipótesis del conjunto o para otra. Y como deseamos evitar esas fáciles maniobras que permite la inconsistencia, exigimos la

consistencia formal como una condición logica *absoluta* para toda teoría científica. Otro motivo es la posibilidad de hallar por lo menos un modelo para cada una de nuestras teorías; efectivamente, la teoría de los modelos enseña que una teoría admite un modelo si y sólo si es formalmente consistente.

Además de la consistencia interna exigimos, o deseamos al menos, la *consistencia externa*, esto es, la consistencia de toda teoría factual con toda otra teoría (no rival) del mismo campo o de campos adyacentes. Deseamos la consistencia externa por las siguientes razones. Primero, la explicación y la predicción de cualquier hecho real requiere la cooperación de cierto número de teorías, aproximadamente una para cada aspecto del hecho; piénsese, por ejemplo, en el número de teorías implicadas en la predicción de la órbita de un satélite artificial. Si esas teorías no fueran mutuamente consistentes, podría derivarse cualquier cosa de la conjunción de sus supuestos iniciales y, por tanto, las "explicaciones" serían demasiado acomodaticias y las "predicciones" no tendrían ningún valor empírico, puesto que para cada previsión podríamos calcular también su negación. Segundo: la consistencia externa se maneja como una contrastación para averiguar la verdad. Así, por ejemplo, una teoría química inconsistente con la física, o una teoría sociológica inconsistente con la biología, tienen que rechazarse sin esperar los resultados de contrastaciones. En resolución: es deseable la *consistencia general* de la ciencia; esa consistencia es necesaria para la sistematización de los hechos reales, que son complejos, y posibilita el control recíproco de sus varias partes.

¿Cómo podemos reconocer la inconsistencia? En casos simples, el sello de la consistencia es simplemente la verdad de los diversos supuestos del sistema. Pero ¿qué decir de un sistema abstracto (sin interpretar) o de un conjunto de hipótesis de alto nivel interpretadas, que no pueden reconocerse inmediatamente como verdaderas –y tal es el caso de las teorías científicas? La base axiomática puede ser tan compleja que esconda una contradicción; podemos derivar cierto número de teoremas; recíprocamente consistentes, y hasta verdaderos, antes de dar con un par de proposiciones mutuamente contradictorias. La *definición* de consistencia no ofrece ninguna ayuda en este caso, que es el de casi todas las teorías científicas. Además de la definición, necesitamos un *criterio* de consistencia y, de ser posible, un procedimiento de decisión, o sea, una regla que pueda aplicarse "mecánicamente" para conseguir una decisión inequívoca, o sea, una respuesta "sí" o "no", para cada pregunta de la forma "¿es T consistente?"

Un criterio simple para conjuntos de proposiciones es el de Bernays que supone una interpretación aritmética del cálculo proposicional. El *criterio de decisión de Bernays* se maneja del modo siguiente. Primero se escriben todos los axiomas de la teoría dada sin más ayuda que la negación y la disyunción. En segundo lugar se atribuyen alternativamente los valores 0 y 1 a cada una de las proposiciones componentes, con las convenciones "$-0 = 1$", "$-1 = 0$", "$0 \cdot 1 = 1 \cdot 0 = 0$". Tercero: tratar toda disyunción como un producto aritmético, y calcular según eso el valor total de cada axioma. (Por ejemplo, el valor de "$p \vee -p$" es: $1 \cdot (-1) = 1 \cdot 0 = 0$.) Cuarto: declarar consistente el sistema si y sólo si todos sus axiomas reciben por el cálculo el mismo número, e inconsistente en otro caso. Tomemos, por ejemplo, el conjunto de fórmulas $A = \{p, -q, p \rightarrow q\}$. El tercer supuesto es claramente inconsistente con la afirmación conjunta de las dos primeras fórmulas, porque afirmar $p \rightarrow q$ es afirmar que es falso que p sea verdadero y q falso; además: del primero

y el tercero derivamos (por *modus ponens*) q, que es la contradictoria de la segunda premisa. La regla de Bernays da

$A1$	p	1	0
$A2$	$-q$	1	0
$A3$	$-p \vee q$	$0 \cdot 0 = 0$	$1 \cdot 1 = 1$

Resultado: inconsistente.

Obsérvese que la subteoría de base $A1$ y $A2$ es consistente, de modo que esos axiomas pueden salvarse si vale la pena; y si, al contrario, es $A3$ el que está mejor confirmado que $A1$ o $A2$, se mantendrá el primero. O sea: el requisito de consistencia no nos obliga a abandonar una entera teoría: puede valer la pena *intentar eliminar las inconsistencias* de una teoría algunos de cuyos supuestos hayan prestado ya servicios valiosos. Esto presupone la identificación y la eliminación de los supuestos causantes de la inconsistencia. Una teoría parcialmente consistente, y, con ello, parcialmente verdadera y fecunda, es más valiosa que una teoría completamente consistente, pero sin interés, falsa o, simplemente, superficial. Esto no quiere decir que pueda prescindirse de la consistencia, sino que ésta es un desideratum que, como cualquier otro, puede no quedar satisfecho en el primer momento (cf. sec. 8.4).

*El procedimiento de decisión recién expuesto no es aplicable más que si puede atribuirse un valor veritativo a todos y cada uno de los axiomas. Esta condición no se cumple si los axiomas de la teoría son funciones proposicionales o si no han sido contrastados para establecer su verdad. En estos casos se atribuye a las primitivas de la teoría una interpretación *ad hoc*, así como contrastaciones para el modelo resultante. Si los axiomas interpretados se reconocen como verdaderos en algún sentido, se declara que la teoría abstracta misma es consistente. La tarea es fácil –una vez establecidas las reglas de interpretación adecuadas– si las primitivas pueden recibir significaciones aritméticas. Dicho brevemente: se dice que una teoría abstracta es consistente si y sólo si es *satisfactible*, o sea, si hay por lo menos una interpretación de sus primitivas que produzca un modelo aceptable. El fundamento de esta regla es intuitivo: las fórmulas de un conjunto no pueden ser verdaderas todas a la vez más que si no se contradicen unas con otras. Dicho de otro modo: ningún conjunto inconsistente de fórmulas tiene un modelo; y, a la inversa, el tener un modelo es una condición suficiente para que una teoría sea consistente. Razón: por la definición de "modelo" toda fórmula del conjunto inicial tiene que valer en sus modelos, condición que no puede cumplir una contradicción.

Averigüemos, a título de ejemplo, si los axiomas de la teoría de grupos dados en el problema 7.4.2. son consistentes unos con otros. Los volvemos a escribir aquí para tenerlos a la vista:

$G1 \quad (x)_U (y)_U (z)_U \; [x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z]$

$G2 \quad (x)_U (x \circ e = x)$

$G3 \quad (x)_U (x \circ x^{-1} = e)$

Las variables individuales x, y, z tienen todas el campo constituido por el conjunto U;

la constante e, el operador monádico^{-1} y el operador binario 'o' son primitivas sin especificar. No se dice nada acerca de esos símbolos, salvo el modo como se combinan entre ellos. Construyamos dos modelos de esta teoría abstracta.

Modelo 1 (adición aritmética)

$I(U)$ = conjunto de los enteros
$I(e)$ = 0
$I(o)$ = +
$I(x^{-1})$ = $-x$

Modelo 2 (mutiplicación aritmética)

$I(U)$ = conjunto de los enteros
$I(e)$ = 1
$I(o)$ = ·
$I(x^{-1})$ = $1/x$

Con esas interpretaciones, $G1$ se convierte en la ley asociativa de la suma de enteros (Modelo 1) o del producto de enteros (Modelo 2); $G2$ se convierte en una caracterización parcial del número cero (Modelo 1) o de la unidad (Modelo 2); y $G3$ se convierte en una definición implícita de la sustracción (Modelo 1) o de la división (Modelo 2). Esto completa la demostración de la consistencia del conjunto axiomático $G1$-$G3$.*

Una tercera propiedad formal que desea tengan las teorías axiomáticas es la *independencia de las primitivas*, o sea, que las primitivas de la teoría sean recíprocamente independientes. Se dice que un conjunto de conceptos es *independiente en una teoría dada* si y sólo si esos conceptos no son interdefinibles, aunque algunos o todos sean definidos en otras teorías. He aquí un *método de contrastación* de la independencia de las primitivas (A. Padoa). Supongamos que se ha atribuido una significación a cada primitiva de una teoría. Reinterpretar la primitiva considerada y examinar si los axiomas siguen satisfechos después de esta reinterpretación parcial; si lo son, el símbolo reinterpretado es independiente de las demás primitivas de la teoría. El procedimiento se aplica sucesivamente a todas las primitivas de la teoría hasta que quede demostrada o refutada su independencia. El fundamento de esta regla es el siguiente: con una reinterpretación parcial se cambia arbitrariamente desde fuera la significación de la primitiva examinada, o sea, su significación no queda especificada (y aún menos definida) por los restantes conceptos básicos de la teoría, los cuales son por tanto independientes de aquélla. Ejemplo: Sean U y o los conceptos básicos de una teoría, siendo U un conjunto de dos miembros y o una operación binaria. Un modelo posible queda determinado por las reglas de interpretación $I_1(U) = \{0,1\}$, $I_1(o) = +$. Ahora reinterpretemos o, pero no U: $I_2(U) = I_1(U)$, $I_2(o) = \cdot$, lo cual tiene tanto sentido como el modelo anterior. Conclusión: U y o son efectivamente ideas con independencia recíproca .

He aquí otro método para contrastar la independencia de los conceptos básicos, algo más complicado (tomado, con adaptaciones, de J. C. C. McKinsey). Supongamos que T

es una teoría con los siguientes candidatos a conceptos primitivos: un conjunto U de subconjuntos S_i, un conjunto de relaciones R_i y un conjunto de operaciones O_i. Diremos que uno de los subconjuntos, S_1 por ejemplo, es *dependiente* de las demás primitivas de la teoría si y sólo si puede demostrarse en T que

*Df.*1 x pertenece a $S_1 \leftrightarrow F(x; S_2, \ldots; R_1, \ldots; O_1, \ldots)$ [7.36]

Análogamente, R_1 dependerá de las demás presuntas primitivas si y sólo si T contiene un teorema tal que (suponiendo, por concretar, que R_1 sea una relación binaria)

*Df.*2 $R_1(x,y) \leftrightarrow G(x,y; S_1, \ldots; R_2, \ldots; O_1, \ldots)$ [7.37]

Y O_1, será dependiente si y sólo si T contiene un teorema que (suponiendo que O_1 sea una operación diádica)

*Df.*3 $xO_1 y = H(x, y; S_1, \ldots; R_1, \ldots; O_2, \ldots)$ [7.38]

siendo F, G y H funciones de un solo valor. Diremos que una primitiva es *independiente* si y sólo si no es dependiente.

El anterior conjunto de definiciones es desde luego inadecuado como criterio de independencia, porque puede ser que la existencia de los teoremas que supone no sea demostrable en el curso de una vida humana. El *método de McKinsey*, basado en esas definiciones, opera del modo siguiente. Primero: interpretar todas las nociones candidatas al estatuto de primitivas, o sea, hallar un modelo $M_1(T)$ de la teoría T. Llamemos $I_1(S_i)$ $I_1(R_i)$ e $I_1(O_i)$ las interpretaciones de los S_i, R_i y O_i respectivamente. Segundo: hallar un segundo modelo de la teoría, tal que sólo se reinterprete una de las primitivas, por ejemplo S_1, mientras que los demás candidatos ($i \neq 1$) conservan sus significaciones anteriores; llamaremos $I_2(S_1)$ esa reinterpretación de S_1. Si se encuentra esa reinterpretación parcial de T, o sea, si puede alterarse la significación de 'S_1' sin cambiar el valor veritativo, entonces S_1 no depende de las demás primitivas, o sea, es independiente. Pero si no es posible una reinterpretación de S_1 sin tener que practicar reajustes de los demás conceptos básicos, entonces S_1 depende de éstos. Análogamente para las demás nociones candidatas al estatuto de primitivas.

Justificación del método: si S_1 fuera dependiente de las demás primitivas, entonces, por la definición [7.36],

$$x \text{ pertenece a } S_1 \leftrightarrow F(x; S_2, \ldots; R_1, \ldots; O_1, \ldots)$$

Como las relaciones formales entre los conceptos básicos de la teoría tienen que ser invariantes respecto de la interpretación, tendríamos:

x pertenece a $I_1(S_1) \leftrightarrow F(x; I_1, S_2), \ldots I_1(R_1), \ldots; I_1(O_1), \ldots)$, de donde:

$$x \text{ pertenece a } I_1(S_1) \leftrightarrow x \text{ pertenece a } I_2(S_1).$$

Pero esta equivalencia es falsa, puesto que, por hipótesis, las dos interpretaciones de S_1 son diferentes, o sea, el conjunto $I_1(S_1)$ no contiene todos los elementos del conjunto $I_2(S_2)$. Consiguientemente, el supuesto de dependencia es falso. O sea, S_1 no depende de las demás primitivas. Análogamente para los conceptos relacionales y de operaciones.

Los métodos para contrastar la independencia de las primitivas pueden parecer un mero lujo pero, de hecho, son valiosos para la teoría y para la práctica. Lo primero, porque esas pruebas establecen cuáles son los conceptos básicos necesarios y suficientes de una teoría, y orientan primordialmente la atención del investigador de fundamentos hacia esos símbolos, y no a los derivativos. La utilidad práctica de las discusiones sobre la independencia de las primitivas consiste en que desarman la tendencia a prescindir de ciertos conceptos básicos que parecen sospechosos a alguna escuela filosófica, y aclara las discusiones acerca de la significación (por ejemplo, la interpretación física) de los símbolos teoréticos. Por ejemplo, una discusión lógica del estatuto de los conceptos "masa" y "fuerza" en la mecánica clásica nos habría ahorrado los desorientados intentos de definirlos explícitamente, eliminándolos así como conceptos básicos. De hecho, la técnica de Padoa, que estaba elaborada ya en 1899, muestra que esos conceptos son primitivos en la mecánica newtoniana. Para comprobarlo recordaremos que m y f se relacionan por la ley de Newton-Euler "$f = ma$". Si atribuimos a f la interpretación (numérica) 0, obtenemos $0 = ma$. Esta ecuación puede satisfacerse de infinitos modos, atribuyendo a m valores cualesquiera. Como hay una infinidad de interpretaciones (numéricas) de m que son consistentes con la interpretación $I(f) = 0$, concluimos que ni la masa puede definirse sobre la base de la fuerza ni a la inversa. La interpretación de la mecánica clásica por Mach es, pues, lógicamente falsa, y lo mismo les ocurre a los centenares de libros de texto que le siguen como si fuera la última palabra.

Una cuarta propiedad formal que deberían tener las teorías perfectas es la *independencia de los axiomas*. Un sistema axiomático es independiente si y sólo si sus miembros no son intertraducibles, o sea, si ninguno de ellos es derivable de los demás (aunque pueda resultar ser un teorema de otra teoría). La independencia de los axiomas, es, para enunciados básicos, el análogo de la independencia de las primitivas, que puede ser verdadera de los conceptos básicos. El método usual para averiguar la independencia de los axiomas es muy paralelo del que se usa para la independencia de las primitivas. Consta de las siguientes reglas. Dar una interpretación a cada primitiva de la teoría, de tal modo que todos los axiomas excepto uno, A_i, quedan satisfechos; dicho de otro modo: hallar un modelo que no lo sea de A_i. Si se encuentra una tal interpretación, A_i no puede ser una consecuencia de los demás axiomas. Dicho brevemente: si todos los axiomas excepto A_i quedan satisfechos por una interpretación determinada de las primitivas, entonces A_i es independiente. Este procedimiento se aplica a cada miembro del sistema axiomático hasta que quede demostrada (o refutada) la independencia completa. He aquí otro procedimiento equivalente: formar un nuevo sistema constituido por $-A_i$ y los demás axiomas; si el sistema resultante es consistente, hemos mostrado que la presencia de A_i, no afecta a los demás supuestos, o sea que A_i, es independiente de los demás axiomas. Pues si A_i, se siguiera de éstos, tendría que aparecer una contradicción al poner en conjunción esos otros axiomas con $-A_i$. Este procedimiento es sintáctico, mientras que el antes descrito es semántico.

Es deseable, pero no obligatorio, que la base axiomática de una teoría sea indepen-

diente. Hay una primera razón de carácter científico: si los supuestos básicos de una teoría son recíprocamente independientes, podemos producir un número ilimitado de sistemas por el procedimiento de sustituir cualquiera de sus axiomas por un supuesto diferente relativo a los mismos objetos. En particular, podemos sustituir cada axioma por su negación. Así se produjeron de hecho las primeras geometrías no-euclidianas, sustituyendo el postulado euclidiano de la paralela por otros postulados. El valor de la independencia de los axiomas en la construcción y reconstrucción de teorías resulta muy visible cuando se tienen datos que refutan claramente uno o más axiomas y son en cambio neutrales respecto de los demás (precisamente porque son independientes). En esos casos es posible un honrado reajuste, nada *ad hoc*, de la teoría. Otra razón para estimar la independencia de los axiomas es metateorética: es un principio de buen orden el poner todos los supuestos iniciales aparte de sus consecuencias lógicas aunque no sea más que para poder revisar en cualquier momento las derivaciones. Hay una tercera razón pragmática: al reducir un sistema a componentes independientes evitamos la formulación doble de una misma idea, una vez como axioma y otra como teorema: la independencia ahorra tiempo. Por último, no hará falta decir que la independencia de las primitivas y la de los axiomas, que son propiedades formales, no perjudican en absoluto la unidad conceptual que se supone posee toda teoría (cf. sec. 7.2).

La consistencia formal interna y externa, la independencia de las primitivas y la de los axiomas son todo lo que podemos esperar de una teoría por lo que hace a su forma. Cuando una teoría satisface esas condiciones y, además, contiene una enumeración explícita y completa de sus primitivas y de sus reglas (sintácticas y semánticas), se dice que está *formalizada*. Una teoría formalizada puede tener contenido factual o carecer de él, y no debe confundirse con un sistema *formal*. Las teorías formales, formalizadas o no, carecen del correlato objetivo; y algunas de ellas, las teorías abstractas, formalizadas o no, carecen incluso de contenido determinado, o significación. La formalización se refiere a la organización, no al contenido; y las teorías formalizadas, en lógica o en física, no son sino teorías idealmente organizadas. Como la mayoría de los ideales, la formalización no nos interesa porque pueda encontrarse en cualquier sitio, sino precisamente porque no es fácil dar con ella. Volveremos a hablar de esto en la sección 8.3.

Se han propuesto a veces otros desiderata formales, entre ellos la economía y la completitud; pero hay razones de peso para no reconocerlos. La *economía formal* de los fundamentos de una teoría es la pobreza de conceptos primitivos y la simplicidad sintáctica de las relaciones básicas entre las primitivas, o sea, de los axiomas de la teoría. Aunque hubiera medidas adecuadas de la simplicidad formal, y por deseable que ésta sea por razones estéticas y para fines metateoréticos (como las demostraciones de consistencia), la economía formal no tiene por qué guiar la construcción de teorías. Una razón de esta tesis es que la pobreza de predicados extralógicos, o sea, la economía en la base de conceptos primitivos, puede conseguirse siempre por el simple procedimiento de pasar por alto los conceptos, o sea, ignorando rasgos de los objetos de la teoría. Análogamente, los supuestos básicos pueden simplificarse todo lo que se quiera despreciando complejidades en las relaciones entre aquellos aspectos. Pero con todo eso sufrirá la verdad. Sin duda hay que evitar primitivas redundantes, así como complicaciones innecesarias en sus relaciones recíprocas iniciales (axiomas). Pero esas complicaciones son ya objeto de la regla

metodológica: "No sentar opiniones arbitrarias (infundadas y no contrastables)." En la ciencia factual la simplicidad tiene un valor en la medida en que no entra en contacto con la fundamentación óptima, la contrastabilidad y la corroboración. Aún más: la economía en la base del sistema no coincide con la simplicidad ni la visualizabilidad del desarrollo del sistema, o sea, no contribuye a facilitar la interpretación.

Hablemos, por último, de la completitud. Se dice que una teoría es (deductivamente) *completa* si y sólo si no pueden introducirse en la teoría nuevas fórmulas que no puedan derivarse de sus axiomas, aunque sea con la ayuda de definiciones. O, lo que es igual: una teoría es deductivamente completa si y sólo si, para todo par de fórmulas recíprocamente contradictorias, o la una o la otra es derivable en la teoría. Si se añade a la teoría una fórmula que no sea derivable, se producirá una contradicción si la teoría es completa, y, en cambio, no se producirá ninguna catástrofe si la teoría es incompleta. Dicho de otro modo: una teoría es (formalmente) completa si no puede ampliarse sin incurrir en contradicción; es incompleta si puede ampliarse sin contradicción, si puede crecer y seguir siendo consistente. Según esto puede indicarse el siguiente procedimiento para averiguar la completitud. Cuando se añade una premisa al conjunto inicial de supuestos, éste es completo si el conjunto así enriquecido es inconsistente o si la nueva fórmula resulta derivada del viejo conjunto. Advertencia: no hay que confundir la completitud formal con la completitud semántica, que es el agotamiento del campo estudiado. Como veremos en seguida, la completitud semántica exige la incompletitud formal.

Con la excepción de ciertas teorías formales elementales, como el cálculo proposicional y el cálculo de predicados de primer orden, todas las teorías consistentes y suficientemente ricas –como la aritmética elemental– *tienen* que ser incompletas, o sea, pueden ampliarse sin contradicción: ésta es la sustancia de uno de los teoremas de incompletitud de K. Gödel. Como la consistencia es un desideratum absoluto y como deseamos disponer de las teorías más ricas posibles, tenemos que abandonar la completitud formal como desideratum para las teorías lógicas y matemáticas. A fortiori tenemos que abandonarla respecto de la ciencia factual, puesto que ésta presupone la ciencia formal.

Pero hay una diferencia: mientras que en la ciencia formal nos apartamos con disgusto de la completitud formal y la consideraremos como un paraíso perdido, en la ciencia factual tenemos que considerar la completitud formal como algo precisamente indeseable. Efectivamente: la capacidad de absorber nuevas premisas emparentadas con los supuestos básicos –como las hipótesis auxiliares y los datos empíricos– es un desiderátum de las teorías factuales porque deseamos aplicarlas a casos particulares, y cada una de esas aplicaciones exige la introducción de nueva información y nuevos supuestos. Por definición, una teoría formalmente completa no puede ampliarse aceptando fórmulas externas. Ahora bien: recordando la caracterización de las teorías axiomáticas (cf. sec. 7.3), nos damos cuenta de que la completitud formal es equivalente a la *axiomatizabilidad*. Así confirmamos nuestra anterior conclusión: la plena axiomatización es indeseable en la ciencia factual. Dicho de modo no negativo: la axiomatización (la completitud formal) es deseable para el *núcleo* de la ciencia factual exclusivamente, o sea, para el conjunto de sus supuestos generales. La incompletitud formal (la axiomatizabilidad parcial) queda más que compensada por la capacidad de desarrollo y aplicación, o sea, por la apertura a la nueva experiencia (cf. sec. 7.3).

Ahora bien: si una teoría es incompleta –como lo será toda teoría consistente y discretamente rica–, entonces será incapaz de cubrir todo problema emparentado con ella. Dicho de otro modo: la incompletitud va acompañada hasta cierto punto por la *irresolubilidad* (respecto de la teoría dada). Supongamos, en efecto, que un determinado problema Π está bien planteado y bien concebido en el marco suministrado por una teoría T. Se dirá que el problema Π es *resoluble* en T si y sólo si T contiene fórmulas de las cuales pueda derivarse una solución $S(\Pi)$ a Π. En otro caso Π será irresoluble en T, aunque pueda resultar resoluble en otra teoría. Dicho brevemente: π es resoluble en T si y sólo si $T \vdash S(\Pi)$. Ahora bien, si T es formal y semánticamente completa permitirá una derivación de la solución. En cambio, si T es incompleta en algún sentido, como es propio de una teoría factual bien desarrollada, entonces $S(\Pi)$ puede no ser derivable en T. Dicho de otro modo: no *todo* problema es resoluble en una determinada teoría factual, aunque pueda plantearse en su contexto. El remedio consistirá en construir una teoría más rica en la cual sea resoluble el problema dado; pero la nueva teoría será incompleta también ella, y dejará abiertos otros problemas.

Teniendo todo eso en cuenta, es sorprendente que se diga con elogio de alguna teoría factual –como la actual mecánica de los quanta– que es completa, que no necesita complementarse con otras teorías. El efecto de una creencia tan injustificada es la eliminación de todos los problemas que no pueden resolverse con las teorías disponibles en un momento dado. En cambio, el reconocimiento de la incompletitud esencial de toda teoría que incluya la aritmética invita a manejar los problemas actualmente irresolubles mediante la construcción de nuevas teorías más fuertes.

Esto completa nuestro esquemático tratamiento de la sintaxis y la semántica de las teorías, campo de la ciencia que está en rápida expansión. Pasemos ahora del análisis de la interioridad de las teorías terminadas al proceso de la construcción de teorías y a la relación de la teoría con el hecho.

Problemas

7.6.1. Una persona formula la (inverosímil) generalización inductiva: "Todos los lunes hace buen tiempo." Para explicar esta hipótesis de nivel bajo formula los siguientes axiomas:

*A*1 El tiempo cambia diariamente de bueno a malo o a la inversa.

*A*2 Todos los domingos hace mal tiempo.

Mostrar que en esos axiomas se esconde una contradicción.

7.6.2. Si se da una interpretación aritmética a un sistema consistente de proposiciones lógicamente verdaderas (tautologías), entonces todas las fórmulas del conjunto tienen el valor 0, cualesquiera que sean los valores (0 o 1) que tomen las constituyentes proposicionales de cada fórmula. A la inversa, si todos los axiomas de un sistema toman el valor 0 en esa interpretación, entonces se trata de un sistema consistente de tautologías. Mostrar que tal es el caso con los axiomas del cálculo proposicional propuestos por Hilbert y Ackermann:

$$(p \vee p) \rightarrow p \qquad [7.39]$$
$$p \rightarrow p \vee q \qquad [7\ 40]$$
$$p \vee q \rightarrow q \vee p \qquad [7.41]$$

$$(p \to q) \to [(r \vee p) \to (r \vee q)] \qquad [7.42]$$

7.6.3. Considerar el conjunto axiomático

$A1 \quad p \to q$
$A2 \quad q \to r$
$A3 \quad r$

¿Es consistente? ¿Es independiente? ¿Es completo? *Problema en lugar de ése*: ¿Cómo puede someterse un sistema de ecuaciones algebraicas lineales a una prueba de compatibilidad (consistencia)?

7.6.4. ¿Qué pensaba Spinoza al escribir que su sistema de ética estaba tratado a la manera geométrica (*more geometrico tractata*)? ¿Qué había utilizado la geometría, en el sentido de que los axiomas y las derivaciones eran matemáticas? ¿O que su sistema estaba organizado imitando la geometría euclidiana, el único sistema axiomático conocido en aquel tiempo (por el 1660)? *Problema en lugar de ése*: Simbolizar el conjunto axiomático de Spinoza y averiguar si es consistente, independiente y completo.

7.6.5. Cambiar uno cualquiera de los postulados [7.23] a [7.25] de la teoría elemental de la probabilidad (cf. sec. 7.5) sin hacer reajustes en los otros dos. Por ejemplo, cambiar el primer postulado, el que exige que la medida de la posibilidad sea un número positivo, exigiendo que sea no positivo, o cambiar el segundo postulado poniendo ahora "$P(U)= 0$". ¿Es consistente el nuevo sistema? ¿Y producirá necesariamente inconsistencias todo nuevo cambio de ese tipo?

7.6.6. Examinar la filosofía estructuralista (o semántica) propuesta por P. Suppes, J. Sneed, W. Stegmüller y C. U. Moulines. Ella reposa sobre la confusión entre el concepto matemático de modelo (como ejemplo de una teoría abstracta) y el concepto de modelo teórico utilizado en ciencia y técnica. Por consiguiente no incluye el concepto de verdad factual ni el de hipótesis semántica (o correspondencia entre concepto y hecho). Véase C. Truesdell, *An Idiot's Fugitive Essays on Science*, cap. 39, Nueva York, Springer, 1984.

7.6.7. Examínese la tesis hermenéutica de que la mejor manera de conocer el mundo social no es investigarlo científicamente, sino narrando historias ("descripciones gruesas") acerca de nosotros mismos y otros. Averiguar si este enfoque puede dar cuenta de hechos macrosociales tales como crisis económicas y guerras ¿Cómo se pone a prueba la verdad de tales "historias"? ¿O será que los hermeneutas eluden el problema de la verificación? Véase C. Geertz, *Local Knowledge*, Nueva York, Basic Books, 1983, y M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven, Yale University Press, 1996 [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

7.6.8. Cuanto menor es el número de axiomas de una teoría, tanto menor es el peligro de inconsistencia. Si la base de una teoría se limita a un solo enunciado autoconsistente (por ejemplo, un principio de variación), el riesgo de inconsistencia se anula. Describir este procedimiento y averiguar si se usa en la ciencia contemporánea. Y decidir si una tal técnica da de sí la teoría más simple posible. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el papel de la contradicción en la ciencia como motivación de nuevo trabajo teorético destinado a superar la inconsistencia.

7.6.9. A veces, cuando una teoría no arroja los resultados correctos en algún campo, se le añade una hipótesis *ad hoc* que produzca el resultado deseado, aunque dé lugar a otros incorrectos en otros campos. Por ejemplo, en la teoría del estado sólido se añade una ficticia variable de spin al operador de energía, lo cual da los niveles de energía correctos, pero valor falso para el spin. Examinar este tipo de procedimiento a la luz de la exigencia de consistencia lógica. *Problema en lugar de ése*: ¿Funciona toda definición como criterio? ¿Qué propiedades deben tener las definiciones para poder servir de criterios?

7.6.10. Las propiedades de consistencia, independencia de las primitivas e independencia de los axiomas son sintácticas, y lo mismo son las definiciones de los correspondientes conceptos. Pero la *identificación* de esas propiedades, o sea, sus criterios de contrastación, son semánticos, porque dependen del concepto de modelo (o de satisfacción, o de verdad). ¿Hace esto a la sintaxis dependiente de la semántica?

BIBLIOGRAFÍA

Andrews, I. G., y R. R. McLone (eds.), *Mathematical Modelling*, Londres, Butterworths, 1976.
Aris, R., *Mathematical Modelling Techniques*, Londres, Pitman, 1978.
Beth, E. W., *Formal Methods*, Dordrecht, D. Reidel, 1962.
——, *The Foundations of Mathematics*, Amsterdam, North-Holland, 1959.
Braithwaite, R. B., *Scientific Explanation*, Cambridge, University Press, 1953, caps. I y II, traducción esp., *La Explicación Científica*, Madrid, 1965.
Bunge, M., *Method Model and Matter*, Dordrecht, Reidel, 1973.
——, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.
——, *Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1967.
Carnap, R., *Foundations of Logic and Mathematics*, Chicago, University of Chicago Press, 1939.
——, *Introduction to Symbolic Logic and Its Applications*, Nueva York, Dover, 1958, parte dos.
Copi, I., *Symbolic Logic*, Nueva York, MacMillan, 1954, cap. 6.
Curry, H. B., *Foundations of Mathematical Logic*, Nueva York, McGraw-Hill, 1963, cap. 2.
Freudenthal, H. (ed.), *The Concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural and Social Sciences*, Dordrecht, Reidel, 1961.
Henkin, L., P. Suppes y A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Amsterdam, Northholland, 1959.
Lewis, C. I., y C. H. Langford, *Symbolic Logic*, 2a. ed., Nueva York, Dover, 1959, caps. XI y XII.
McKinsey, J. C. C., "On the Independence of Undefined Ideas", *Bulletin of the American Mathematical Society*, *41*, 291, 1935.
Nagel, E., P. Suppes y A. Tarski (comps.), *Logic, Methodology and Philosophy of Science*, Stanford, Stanford University Press, 1962.
——, *The Structure of Science*, Nueva York y Burlingame, Harcourt, Brace and World, 1961, cap. 5.
Padoa, A., "Essai d'une théorie algébrique des nombres entiers, précedé d'une introduction logique à une théorie déductive quelconque", secs. 8-18, *Bibliotlhèque du Congrès International de Philosophie*, *3*, 309, 1900.
Rosenbloom, P., *The Elements of Mathematical Logic*, Nueva York, Dover, 1950, cap. 11, sec. 3.
Suppe, F. (ed.), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1974.
Suppes, P., *Introduction to Logic*, Princeton, Van Nostrand, 1957, cap. 12.
Tarski, A., *Logic, Semantics, Metamathematics*, Oxford, Clarendon Press, 1956.

8. TEORÍA: DINÁMICA

Como el objetivo de la teorización es la construcción de teorías maduras y verosímiles, y como lo que distingue una teoría de otros fragmentos de conocimiento científico con ciertas propiedades lógicas, como la deducibilidad y la unidad conceptual, teníamos que investigar la lógica de las teorías antes de poder echar un vistazo al proceso efectivo de la construcción de las teorías y al modo como las teorías dan razón de sus referentes. La dicotomía forma-contenido que hemos adoptado es metodológicamente conveniente, pero psicológica e históricamente es artificial, porque en la ciencia factual uno concibe desde el primer momento teorías interpretadas, utilizando para ello los instrumentos conceptuales que parecen más adecuados para la representación de cuestiones de hecho; teorías abstractas, o modelos puramente conceptuales de las mismas, no se presentan –si es que llegan a hacerlo– más que en la reconstrucción lógica (formalización) de teorías factuales ya existentes, y, desde luego, en la ciencia formal. No menos artificial es partir de la consideración de teorías ya listas, como hemos hecho, en vez de partir de embriones teóricos: si deseamos saber cómo se hace la ciencia, no podemos limitarnos a los manuales de filosofía de la ciencia, pero tampoco podemos ignorar el producto terminado, puesto que éste es el objetivo de la investigación teorética. Corrijamos entonces la imagen estática que da de sí el planteamiento puramente lógico, echando ahora un vistazo a la construcción de las teorías y a su relación con el mundo. La relación de la teoría con la experiencia científica nos ocupará con mayor detalle en la parte IV.

8.1. CONSTRUCCIÓN DE TEORÍAS

Las teorías pueden construirse, remodelarse, reconstruirse lógicamente, aplicarse, destruirse y olvidarse. La construcción de una teoría científica es siempre la edificación de un sistema más o menos afinado y consistente de enunciados que unifica, amplía y profundiza ideas, las cuales, en el estadio preteorético, habían sido más o menos intuitivas, imprecisas, esquemáticas e inconexas. En los comienzos de la ciencia ese estadio preteorético es simplemente el conocimiento ordinario; en disciplinas ya establecidas un estadio preteorético no puede presentarse sino en campos particulares; siempre hay alguna teoría más o menos afín que es una ayuda en la construcción, ya prestando materiales, ya sugiriendo planteamientos. En cualquier caso, la construcción de teorías no procede en el vacío, sino en una matriz preexistente. Cuando la matriz es pobre, los primeros esfuerzos de teorización pueden ser muy difíciles; tal es el caso de los campos caracterizados por una ciega acumulación de información, con su compañera inevitable, la confusión conceptual.

Los elementos conceptuales utilizados en la construcción de una teoría no dependen

sólo del sistema de problemas que debe resolver la teoría, sino también del conocimiento y de las técnicas disponibles. Por esta razón diferentes investigadores basándose en consideraciones muy diferentes pueden llegar independientemente a la misma teoría. Además de esa propiedad social tenemos que recoger el trasfondo peculiar del teórico, sus tendencias, sus fobias, su estilo mental: de no hacerlo así nos será imposible explicar el fenómeno complementario del anterior, a saber, las teorías diferentes que a menudo se proponen para resolver un mismo sistema de problemas.

No hay técnicas normadas y listas para la construcción de teorías: el teórico puede usar cualesquiera medios conceptuales, siempre que los claramente erróneos no se presenten en el producto final o puedan al menos eliminarse de él. Los medios que se utilizan en la construcción de las teorías, pero que no aparecen en su presentación final, se llaman ideas *heurísticas*. La hipótesis del calórico fue una ayuda heurística en la construcción de la termodinámica, y lo mismo ocurrió con la idea del homúnculo en la primitiva genética. Además de las hipótesis y las teorías desempeñan frecuentemente un papel heurístico los experimentos mentales, o sea, experimentos que se planean pero no se ponen en práctica. (Es curioso que a veces se cree que los experimentos mentales *prueban* teorías, cuando ni siquiera los experimentos reales pueden hacer tanto.)

Por último, en la formación de una teoría pueden desempeñar también algún papel ciertos ejemplos particularmente sugestivos (casos heurísticos, que no son meras ilustraciones).

En cualquier caso, la construcción de teorías no suele hacerse de un modo clara y lógicamente consciente; por eso su resultado es lo que puede llamarse una teoría *natural,* un borrador poco denso que puede ser ulteriormente organizado y clarificado –o destruido– por ulteriores desarrollos, aplicaciones y discusiones.

En ese estadio de borrador, el principal requisito puesto por el teórico es que la teoría cubra de un modo unitario una buena porción del campo considerado, o sea, el conjunto de los datos y las generalizaciones de bajo nivel de que se dispone y que hasta el momento estaban sin conectar o sólo laxamente conectadas. El dar razón de ese material disponible, el sistematizarlo, será la "condición mínima", y el objetivo último del teórico puede ser la tarea, más ambiciosa, de dar razón también de hechos y generalizaciones desconocidas hasta el momento. Hablando metafóricamente una teoría científica es como un molusco que tiene un núcleo blando –el conjunto de las hipótesis de alto nivel– rodeado por una concha algo más dura, pero porosa, el conjunto de las generalizaciones de nivel bajo, o empíricas (cf. fig. 8.1). Por los poros de la parte periférica penetra información acerca del mundo externo, la cual permite al núcleo central producir nuevos resultados particulares (predicciones y retrodicciones) que se proyectan hacia el mundo externo. Algunas veces esas excreciones son más valiosas que el alimento introducido.

En los primeros estadios de la construcción de teorías el científico no puede ocuparse mucho de condiciones lógicas, con la única excepción de (*i*) la consistencia semántica (homogeneidad y conexión de los conceptos básicos) y (*ii*) la consistencia formal, reconocida de un modo natural o intuitivo. (Por lo que hace a la consistencia semántica, cf. sec. 7.2; sobre la consistencia formal, sec. 7.5.) La teoría puede en algún momento someterse a una reconstrucción lógica, o formalización, o sea, puede reconstruirse de tal modo que sus presupuestos, primitivas, axiomas y reglas queden todos formulados tan plena y

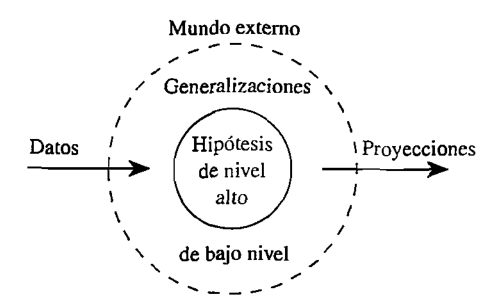
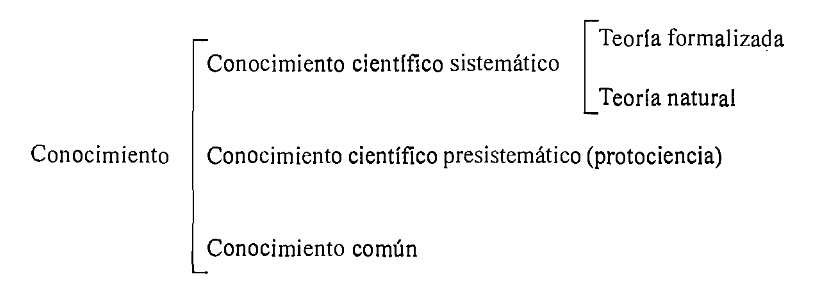


FIGURA 8.1. La teoría científica como un organismo que se alimenta de datos referentes al mundo externo, sobre el cual proyecta nueva información (predicciones y retrodicciones).

claramente como resulte posible en un momento dado. Este proceso de afinación de la teoría no llega a iniciarse siquiera la mayoría de las veces; la mayor parte de los científicos se interesan por el hallazgo de nuevas consecuencias (teoremas) o por su contrastación con datos, y atienden menos al deseo de una clara organización lógica: esta última tarea suele caer en manos de autores de tratados elementales, los cuales pocas veces dominan los instrumentos lógicos y filosóficos necesarios, y muy frecuentemente consideran las teorías aceptadas durante la década anterior como resultados finales, y no como objetos de la investigación.

Si llega a emprenderse el proceso de afinamiento de la teoría –como ha ocurrido con la mecánica clásica–, es posible que no se complete nunca, aunque no sea más que (*i*) porque la formalización de la teoría requiere técnicas lógicas y metacientíficas que aún tienen que inventarse o perfeccionarse, y (*ii*) porque la interpretación y comprensión de cualquier teoría dada está en gran medida condicionada por el estado de las teorías adyacentes que, al cambiar ellas mismas, alteran aquella interpretación. En cualquier caso, hay toda una escala de estadios entre el primitivo o natural y el de una reconstrucción lógica cuidadosa (aunque no final). Por lo que hace a la organización lógica, debemos reconocer grados dentro de la siguiente división esquemática:



Cualquiera que sea el estadio de formalización que haya alcanzado, una teoría puede remodelarse o reajustarse en un intento de mejorar su adaptación a los hechos. Si el intento fracasa, la teoría puede demolerse ya en el proceso de crítica, ya en el curso del nuevo intento de reducirla a conjuntos de fórmulas de nivel inferior que, por estar más cerca de

la experiencia, satisfarán la inmadura necesidad de certeza. La construcción de teorías es en este sentido un proceso más o menos espontáneo; en cambio, la formalización, la crítica y la destrucción de teorías suponen el uso explícito de principios y técnicas lógicos y metodológicos bien determinados, por no hablar ya de los puntos de vista filosóficos. Consideraremos algunos de ellos al final de esta sección y en la sección 8.3.

Las teorías naturales no formalizadas pueden construirse de varios modos, cada uno de los cuales da una clase de teoría y ninguno de los cuales está tan regulado por reglas como para constituir un método en sentido propio. En uno de los extremos de esa gama de planteamientos y teorías encontramos la mera organización de las generalizaciones empíricas existentes, formuladas verbalmente, con la vaguedad, la ambigüedad y la difuminación características del lenguaje ordinario. La mayor parte de las teorías de las ciencias del comportamiento siguen siendo de esa nebulosa clase, aunque se está produciendo un vigoroso movimiento de limpieza lógica y matematización. En el otro extremo encontramos teorías basadas en hipótesis no empíricas, fuertes y de alto nivel, formuladas matemáticamente y que se benefician por ello de la limpieza y el poder deductivo característicos de la matemática (cf. sec. 8.2). La mayoría de las teorías físicas y un número creciente de teorías biológicas y del comportamiento pertenecen a esta clase.

Entre las teorías verbales y los "modelos" matemáticos hay un amplio campo de grados intermedios de formalización. Las teorías verbales contienen a menudo *conceptos* matemáticos, como los de inclusión de conjuntos, árbol, variable numérica, razón y proporcionalidad; pero, por la definición de "teoría verbal", esos sistemas no contienen en cambio *relaciones* matemáticamente formuladas entre tales conceptos. Consiguientemente, sus formulaciones (por ejemplo, sus enunciados legaliformes) serán más bien laxos, difíciles de criticar, de manejar y de contrastar. (La presencia de conceptos *cuantitativos* en una teoría no es necesaria ni suficiente para que sea matemática, por no hablar ya de científica. Una teoría con conceptos no cuantitativos, como los de conjunto y relación ordenadora, puede ser matemática (cf. sec. 7.3); y, por otro lado, una teoría con conceptos cuantitativos como "coste" y "precio", puede seguir siendo verbal si no enlaza matemáticamente esos conceptos, mediante funciones y ecuaciones.) En las ciencias del comportamiento se manejan unos cuantos conceptos cuantitativos (por ejemplo, "número de cumplimientos") y pseudo cuantitativos (por ejemplo, "energía psíquica"), pero no se han sugerido ni corroborado sino pocas relaciones matemáticas entre ellos. Cuando algunos de los supuestos iniciales de una teoría se formulan en forma matemática podemos decir que es una teoría semimatemática; ejemplo de esta clase de teorías es la economía clásica.

Consideremos las siguientes hipótesis no cuantitativas que contienen conceptos cuantitativos: "Cuanto mayor es la densidad de población, tanto más numerosos son los contactos sociales (o mayor es la frecuencia del contacto social)". Se obtiene una familia infinita de matematizaciones posibles de esa hipótesis introduciendo una función sin especificar, monótona y creciente, f, que relacione el número c de los contactos interpersonales (en un periodo de tiempo) con la densidad de población d: $c = f(d)$. Pero mientras no se especifique la forma precisa de la función f, la anterior relación no será más que un *esquema nebuloso*; hablando metodológicamente, es una hipótesis programática que invita a investigar un determinado problema: el de averiguar la forma precisa de la relación f (cf. fig. 8.2). En las ciencias del comportamiento siguen entendiéndose como

teorías numerosos *esquemas programáticos*, o sea, esquemas teóricos que contienen supuestos indeterminados de ese tipo, o aún menos precisos (como "*c* depende de *d*"). Sin duda hay que construir esquemas programáticos en todo estadio preliminar de exploración, e incluso después, cuando se intenta unificar conjuntos de teorías. Pero esos esquemas no agotan la construcción de teorías, ya por el hecho de que contienen enunciados escasamente significativos y, por tanto, escasamente contrastables. Sólo pueden contrastarse relaciones plenamente significativas (cf. sec. 5.6).

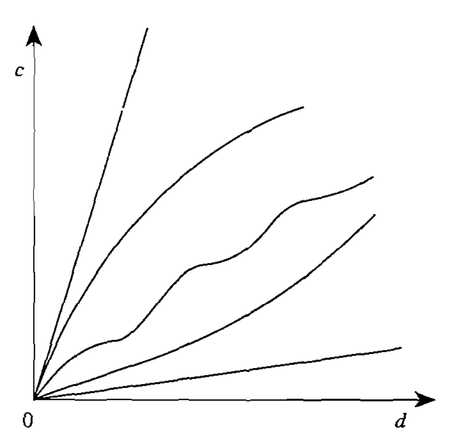


FIGURA 8.2. Algunas de las infinitas relaciones que satisfacen el esquema "Cuanto mayor es la densidad de población, tanto más numerosos son los contactos sociales". Se ha supuesto la continuidad para simplificar el esquema.

Admitiendo que una teoría plenamente significativa y contrastable no contendrá más que relaciones precisas, no elusivas, entre los conceptos, ¿qué tipo de conceptos debe contener? Es claro que debe contener *conceptos teoréticos*, o sea, conceptos introducidos por la teoría o, al menos, muy afinados por ella, sujetos a la condición obvia de vaguedad intensional y extensional mínimas (cf. sec. 3.7). Algunos conceptos teoréticos preexisten a la teoría en una forma ruda o intuitiva, y no se afinan sino gracias a la teorización: tal es el caso de "distancia" y "herencia", por ejemplo. Si no fuera por esos vínculos con el conocimiento ordinario no podría empezar nunca la teorización; aún más: a veces se construye o reconstruye una teoría precisamente para aclarar ante todo ciertos conceptos. Pero otros conceptos, como "tensión superficial", "enzimas" o "intensidad del hábito" nacen con las teorías mismas: tienen vínculos muy débiles –si es que tienen alguno– con el conocimiento ordinario. Y los que no tienen antecedentes en el conocimiento ordinario, como "campo de fuerza", "gene" y "teoría", caracterizan las teorías más originales, profundas y fecundas. Cosa parecida ocurre con las hipótesis: en las teorías poco desarrolladas los supuestos iniciales no son mucho más que afinaciones y extensiones de generalizaciones empíricas. En cambio, las teorías maduras se caracterizan por la presencia de hipótesis no-observacionales (cf. sec. 5.4); y las más maduras se caracterizan por hipótesis representacionales que, como se verá en la sección 8.5, van más allá de las relaciones factor-producto *(input-output)*.

A veces las hipótesis de las teorías científicas que necesariamente contienen conceptos teoréticos se consideran con reticencia por pensar que, al apartarse de la experiencia, no pueden ser sino, a lo sumo, extrapolaciones sumamente inciertas, y en el peor de los casos cuentos de hadas. Según este punto de vista hay una sola y sencilla regla para la

construcción de teorías, a saber: partir de experiencias elementales, o sea, de datos individuales, generalizándolos con precaución (inducción). La entera historia de la ciencia ha sido injustificadamente contrahecha bajo la influencia de esta inmadura filosofía de la protociencia, de tal modo que la observación sustituía al razonamiento, la inducción a la invención y la paciencia al talento; y los problemas, que son la chispa que pone en movimiento el experimento y la teorización, no tenían ni lugar ni homólogo en ese cuadro. En él cada gran revolución de las ideas, como la teoría de la evolución o la de los quanta, tenía por fuerza que presentarse como un trauma, puesto que esas nuevas ideas no se habían "inducido" evidentemente de la observación; por eso también cada nueva idea grande se rechazaba en nombre de la metodología, o bien se adulteraba para adecuarla a las ideas preconcebidas, al esquema preconcebido (y, por lo tanto, no empírico). Esta historia de la ciencia que elimina las ideas, que no se interesa por los problemas ni por las hipótesis –por el núcleo de la investigación científica–, está siendo lentamente sustituida por una explicación más verdadera basada en una filosofía post-baconiana de la ciencia. Pero no nos hace falta apelar a la nueva historia de la ciencia, que está aún en su mayor parte por escribir, para refutar el punto de vista según el cual la teoría científica es la sistematización de los datos: basta para ello con un análisis del proceso de construcción de las teorías.

Hay varias razones por las cuales una teoría no puede ser un sumario de datos, y aún menos, naturalmente, una síntesis de experiencias elementales (atómicas). Una razón es de orden puramente lógico; por definición, una teoría es un conjunto de fórmulas parcialmente ordenado por la relación de deducibilidad; y esa relación no vale nunca entre enunciados particulares referentes cada uno a un hecho distinto: las cadenas de deducción no pueden establecerse más que entre fórmulas que se encuentren a diferentes niveles de potencial, por así decirlo: para deducir fórmulas acerca de la experiencia, tenemos que empezar por levantarnos por encima de la experiencia y construir un sistema trasempírico multinivel (cf. sec. 7.3). Otra razón es que *no hay* elementos aislables, autocontenidos y simples de orden experiencial (átomos empíricos). En efecto: el objeto de la experiencia es siempre un todo y, como tal, inútil para la ciencia: la experiencia científicamente relevante no es experiencia pura –por ejemplo, la experiencia sin contaminar que pudieron tener nuestros antepasados biológicos hace un millón de años–, sino experiencia conceptualizada o interpretada: una experiencia mezclada con anticipaciones e ideas, y arraigada en un trasfondo conceptual. El análisis, que es una operación conceptual, nos permite descomponer el todo experiencial dado en un sistema de unidades más o menos distinguibles, y nos posibilita así el descubrimiento de sus interrelaciones. Pero el análisis de la experiencia no se detiene con la descomposición de los todos experienciales en unidades de experiencia, o perceptos; la elaboración conceptual de la experiencia lleva siempre a alguna idea: a un problema, una conjetura, todo un haz de hipótesis. Si seguimos elaborando la idea inicial con los instrumentos tomados de nuestro trasfondo conceptual, aquella idea puede desarrollarse en un sistema de hipótesis interrelacionadas, pero claramente distinguibles, que constituye una teoría. Otra razón es que en la elaboración de la experiencia y en la invención de ideas se *descarta* la mayoría de los detalles particulares y el resto se *desfigura,* en vez de reunirlo y condensarlo cuidadosamente. Los perceptos, que ya son en realidad productos de un análisis, y no experiencias en bruto, se descartan en su mayor parte en el proceso de selección de los elementos relevantes. Y los que no se descartan se transforman en ideas, las cuales, por

su parte, son todo lo que se quiera, menos fieles reproducciones de lo sensible dado. A posteriori discriminamos y seleccionamos las ideas hasta darnos cuenta de que algunas de sus unidades componentes (conceptos) no tienen contrapartida experiencial, razón por la cual tienen una posibilidad de participar en la explicación de la experiencia.

En suma: una teoría es una creación original, no una disposición de elementos cuidadosamente anclados en la experiencia (por ejemplo, operativamente "definidos"). Los datos particulares no son materiales de contrucción de la teoría sino simplemente –una vez cribados– ocasión de la actividad teorizadora y contrastación de las teorías: los datos particulares plantean problemas y constituyen otras tantas condiciones que la teoría tiene que satisfacer en alguna medida. Si la teoría es verdadera, se encontrarán los datos particulares como consecuencias de los supuestos generales de la teoría, en conjunción con otros datos particulares. El caso singular tiene unas cuantas funciones; planteará un problema, sugerirá tal vez una conjetura, puede a veces refutarla, e ilustrará una teoría: pero no puede producirla.

El camino no va de los datos a la teoría, sino de los datos al problema, del problema a la hipótesis, y de la hipótesis a la teoría; y luego a la inversa, de la teoría y la evidencia a una proyección que podrá someterse a contrastación con la ayuda de otro elemento de evidencia y la de otras teorías (cf. fig. 8.3). Ésta es una imagen de la construcción de teo-

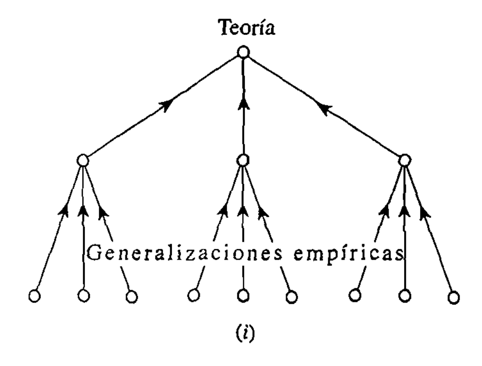


FIGURA 8.3. (*i*) La concepción ingenua de la construcción de teorías: la experiencia como fuente de la teoría. (*ii*) Una concepción más realista (aunque aún simplificada): la teoría provocada y contrastada por datos que arraigan en la experiencia.

rías compatible con la lógica: como de un mero conjunto de enunciados de evidencia singular no puede inferirse válidamente nada (cf. sec. 7.3), hay que crear algo que vaya más allá de la experiencia si es que queremos explicar ésta. Los datos deben encontrarse en los dos extremos del proceso: al principio y al final, como disparadores y contrastadores del teorizar pero nunca como ladrillos de las teorías.

El punto de partida de una teoría es generalmente el problema de sintetizar y explicar un conjunto de generalizaciones más o menos inconexas, empíricas o no, que pueden llamarse las *hipótesis del descubrimiento* de la teoría. La unificación de un conjunto de hipótesis tales requiere (*i*) *su afinamiento* –o sea, su formulación con términos teoréticos más especializados que permitan mayor precisión–, o (*ii*) la introducción de hipótesis radicalmente *nuevas* y más fuertes que establezcan vínculos lógicos entre aquellas hipótesis y permitan su deducción. La invención newtoniana de la mecánica racional requirió las dos operaciones. Las hipótesis de descubrimiento que eligió eran un conjunto de leyes inconexas del movimiento, principalmente las leyes galileanas de caída libre de los graves y de la balística, las leyes keplerianas del movimiento de los planetas y la ley de las pequeñas oscilaciones, de Huygens. Newton no se limitó a *generalizar* esas leyes por inducción, como querría el modelo ascensional de la construcción de teorías; no llevó a cabo ninguna generalización inductiva que recogiera como casos individuales las hipótesis de descubrimiento, y ello ya por la simple razón de que *no existen* leyes cinemáticas de orden superior bajo las cuales subsumir las leyes cinemáticas de Galileo, Kepler y Huygens. Para sintetizarlas y derivarlas Newton inventó una teoría dinámica: introdujo un sistema de hipótesis enteramente nuevas que no describen trayectorias observables de partículas, como hacían las leyes cinemáticas, sino que refieren a fuerzas y masas no perceptibles y a sus manifestaciones cinemáticas (aceleraciones). Las leyes cinemáticas –las viejas igual que cualesquiera nuevas– se deducían de las leyes dinámicas con la ayuda de un nuevo cálculo, porque la técnica de deducción de que disponía era demasiado débil. De un modo parecido, N. Rashevsky ha intentado en nuestros días derivar las leyes integrales del comportamiento humano partiendo de las leyes diferenciales de los mecanismos nerviosos que transmiten y elaboran los estímulos observables. Puede discutirse la medida en la cual ha alcanzado ese objetivo, pero esto no tiene nada que ver con el valor del programa.

En el proceso de teorización pueden sufrir alteraciones las hipótesis del descubridor. En el caso de la mecánica, resultó que eran en su mayor parte sólo soluciones aproximadas a las leyes "exactas" (tampoco completamente verdaderas, como sabemos hoy) de nivel más alto. La teoría no sólo puede fundir y explicar las primeras hipótesis sueltas, sino que puede también corregirlas, y, al hacerlo, puede mejorar la descripción de la experiencia. Dicho brevemente: la teoría, asimila, enriquece y corrige la experiencia. Y puede hacerlo porque introduce conceptos trasempíricos recién producidos. Los conceptos inexactos del conocimiento común, por útiles que sean para la descripción precientífica de la experiencia ordinaria, son insuficientes para enmarcar las elevadas hipótesis de la ciencia, no sólo por demasiado vagos, sino también porque corresponden a rasgos superficiales de la realidad. Lo que las cosas son realmente no puede percibirse, sino formularse sólo hipotéticamente: tenemos que imaginar modelos más o menos idealizados hechos con construcciones teoréticas, para luego contrastarlos.

Tomemos, por ejemplo, la teoría de las decisiones –o, más exactamente, la parte de la misma llamada *teoría bernoulliana de la utilidad*– cuyo objetivo es dar razón de la elección y racionalizarla. El único *concepto observacional* de esta teoría es el de alternativa simple; puede dilucidarse entendiéndolo como un par ordenado $\langle x, y\rangle$ –que es un concepto teorético de nivel bajo– e interpretarse como un par de resultados recíprocamente excluyentes de una acción (un juego, por ejemplo). La teoría introduce dos relaciones *directamente inferibles* (pero, estrictamente hablando, inobservables): preferencia e indiferencia. (Partiendo de actos de elección junto con el supuesto de preferencia constante, inferimos estimaciones de preferencia: si un sujeto elige de hecho x en vez de y, inferimos que prefiere x a y, etcétera. Un planteamiento puramente conductista tendría que prescindir de esos inobservables. La actitud científica consiste en aceptarlos y someterlos a la custodia de una teoría contrastable, o sea: vincularlos con indicadores objetivos más o menos fiables.) Por último, las *construcciones,* o conceptos teoréticos más altos, de la teoría son: la función de utilidad, $u(x)$, que mide la intensidad de las preferencias del sujeto por el resultado x, y la probabilidad, p, de ese resultado x. (Esta probabilidad será objetiva en algunas teorías y subjetiva en otras.) Pueden considerarse axiomas de la teoría los dos siguientes (aunque, desde luego, son posibles otras elecciones de axiomas):

*U*1. Para todo par $\langle x, y\rangle$ de alternativas, el sujeto prefiere x a y, o es indiferente entre x e y, si y sólo si $u(x) \geq u(y)$. Tomando sólo el signo de desigualdad, esto puede tomarse por una definición de "preferencia", que es un inobservable, por "utilidad", que es otro inobservable.

*U*2. Para todo par $\langle x, y\rangle$ de alternativas y para todo valor de la probabilidad p del resultado x, la utilidad de la alternativa $\langle x, y\rangle$ es igual a la media estimada de las utilidades individuales, o sea, a $p \cdot u(x) + (1-p) \cdot u(y)$. [*Obsérvese que* $1-p$ *es la probabilidad* del resultado no-x, o sea, de y.]

Esos axiomas relacionan entonces las seis primitivas específicas de la teoría, las cuales pueden disponerse así en orden de complejidad epistemológica:

Construcciones (conceptos teoréticos del nivel más alto)	Función de utilidad u del organismo considerado. Probabilidad $P(x) = p$ del resultado x.
Conceptos teoréticos de nivel intermedio	Preferencia, $>$ Indiferencia, $=$
Conceptos teoréticos de nivel bajo	Par alternativo, $\langle x, y\rangle$ Resultado, $x, y, \ldots$

Los conceptos de resultado y de par alternativo se han incluido entre los conceptos teoréticos porque, aunque no han sido introducidos por la teoría de las decisiones, ésta los ha dilucidado sin duda alguna. Hablando rigurosamente, ninguna teoría contiene más que conceptos teoréticos.

El anterior ejemplo presenta claramente tres rasgos destacados y emparentados de la teorización: la *simplificación,* la *invención* y la *generalización.* La simplificación afecta

ante todo al material empírico, y tiene como resultado la selección de unas cuantas variables que, por alguna razón, se suponen las esenciales, así como la selección de unas pocas relaciones-clave entre ellas. Cuantas menos variables manejemos, tanto más finas o complejas serán las relaciones entre ellas que tendremos que admitir. A la inversa, cuanto mayor sea el número de variables, tanto más esquemáticos –y, por tanto, menos exactos tendrán que ser los supuestos sobre sus interrelaciones. Ésta es una de las razones por las cuales las teorías tecnológicas no pueden contener relaciones tan complejas como las de las teorías científicas subyacentes; precisamente porque, por tener que tratar con modelos más realistas de las cosas, se ven obligadas a incluir un mayor número de variables. En cualquier caso, cuando simplificamos la información empírica dada *descartamos particulares* en vez de intentar sistematizarlos todos.

Pero si no hiciéramos más que eliminar o uniformar detalles, nos limitaríamos a simplificar la descripción inicial, sin construir propiamente nada. Las variables-clave y las relaciones-clave entre ellas no son nunca dadas, ni nacen de la mera simplificación; tienen que introducirse como cosa nueva o, al menos, como producto de un refinado. Además: muchas de ellas no quedan en absoluto sugeridas por el conocimiento empírico disponible: se *inventan,* como se inventan todas las construcciones. (La invención es compatible con la simplificación si las dos afectan a objetos diferentes: el material empírico se simplifica gracias al enriquecimiento del cuerpo del conocimiento mediante la invención de construcciones.) La invención y el trabajo de conjetura culminan en un modelo del sistema en estudio. Este modelo, y no el correlato real en que se piensa (que puede resultar irreal), es el objeto propio de la teoría. Como el modelo supone una simplificación sustancial y deliberada del conocimiento empírico, así como construcciones originales que no se hallan en la experiencia, no puede esperarse que sea perfecto. Esto es: ya *a priori* deberíamos saber, por un análisis del mero proceso de la construcción de teorías, que toda teoría factual es en el mejor de los casos aproximadamente verdadera, porque supone demasiadas simplificaciones y algunas invenciones que tienen que ser por fuerza inadecuadas en alguna medida, pues no pueden controlarse plenamente ni por la experiencia ni por la lógica.

A causa de la eliminación de los particulares –o sea, la concentración sobre lo esencial– y la introducción de ricos conceptos trasempíricos, la teoría puede ser mucho más general que cualquier conjunto de descripciones particulares y generalizaciones empíricas que haya provocado su construcción. Así, por ejemplo, una sola teoría de las ondas electromagnéticas, que tiene como centro el modelo de la onda electromagnética –caracterizado a su vez por sólo tres variables: amplitud, longitud de onda y fase–, cubre todo el espectro desde los rayos infrarrojos hasta los rayos gamma, y unifica así campos de investigación que estaban separados hasta la introducción de la teoría, esto es, mientras aquellas áreas de la investigación se mantuvieron demasiado cerca de la experiencia. Una simplificación de lo dado –o, por mejor decir, de lo buscado –junto con la invención de construcciones, es *necesaria* para construir cualquier teoría más fuerte que el conjunto de sus hipótesis de descubrimiento. ¿Es posible estipular un conjunto de reglas *suficientes* para la construcción de teorías? Algunos filósofos lo han intentado a partir del Renacimiento, pero ninguno lo ha conseguido, aunque se han escrito libros acerca de la nonnata lógica del descubrimiento científico y de la técnica, no menos por nacer, de la construc-

ción de teorías. ¿Es casual ese fracaso? ¿Podemos esperar que en el futuro se construirá una teoría de la construcción de teorías, y hasta que se formulará esa teoría de tal modo que podamos programar calculadoras que, mediante una aplicación mecánica de esas reglas áureas, segreguen teorías científicas? No, no existe esa esperanza, aunque se esté escribiendo tanto sobre la inminencia de una tal revolución.

La razón de esto es que la invención, el núcleo de la construcción de teorías, no es un procedimiento mecanizable. La invención es sin duda un tema de estudio, aunque muy descuidado, en parte porque ni siquiera se supone que los científicos inventen, sino que se cree que se limitan a contemplar muchos hechos mondos y a observar cuidadosamente lo que perciben. Además, la invención científica no es libre invención de naturaleza poética, sino que está sujeta a restricciones lógicas, metodológicas y hasta filosóficas: está controlada por reglas, no movida por reglas. Dicho brevemente: la construcción de las teorías científicas no es una actividad *dirigida* por reglas, pero sí *controlada* por reglas. El estudio de la invención científica, tema por sí mismo interesante, nos promete un conjunto de reglas necesarias y suficientes para la invención de nuevas teorías. Y esto por las siguientes razones.

En primer lugar, si se tiene una inteligencia original, no se necesitan reglas para la construcción de teorías; y si uno se siente perdido sin tales reglas, entonces es que no se posee un cerebro suficiente para producir trabajo original. En segundo lugar, la mera idea de un conjunto de prescripciones para conseguir la originalidad es auto-contradictoria: si uno *inventa* una idea genuinamente nueva, es precisamente porque la idea ha nacido sin la ayuda de ninguna regla: no se ha inferido de ideas preexistentes según alguna receta –aunque sin duda la idea no habrá nacido en un vacío intelectual, y estará muy probablemente "sometida" a algún conjunto de leyes psicológicas desconocidas por el momento. En tercer lugar, la propuesta de inventar un conjunto de reglas para la invención de teorías da lugar a una regresión infinita: en efecto, ¿qué decir entonces de las reglas mismas? Si establecemos que tiene que haber reglas de la producción de esas reglas, terminamos en un callejón sin salida, y, para evitarlo, tenemos que admitir que en un punto u otro interviene la originalidad.

En resolución: no tenemos técnicas de la construcción de teorías y, si el anterior razonamiento es concluyente, no las tendremos nunca. Por esta razón, aunque tenemos teorías de los automatismos, no poseemos ningún plano de autómata teorizador. Lo único que podemos saber de la construcción de teorías es que no se consigue manipulando datos, con o sin la ayuda de calculadoras, sino *inventando una esquematización ideal* del objeto de la teoría y *complicándola gradualmente luego,* o sea, introduciendo luego más conceptos teoréticos y relaciones más complejas entre ellos, como lo exija y permita nuestra imaginación. Pero esta receta es tan débil como la que aconsejara "Tenga usted una imaginación potente y sométala al control de la razón y la experiencia."

Hay sin duda unos cuantos consejos más o menos definidos, así como los correspondientes desiderata, que pueden darse para ayudar en la construcción de teorías. Entre los primeros pueden citarse los siguientes: "No empezar a teorizar hasta tener un haz de problemas claramente planteados y un manojo de generalizaciones empíricas sobre el campo elegido", "No posponer la teorización hasta el momento en el cual la muchedumbre de datos sin digerir –muchos de ellos posiblemente irrelevantes– confunda demasiado",

"No elegir como unidades básicas (primitivas) conceptos demasiado bajos u observacionales, sino conceptos trasempíricos fuertes", "Rehuir la inescrutabilidad", "Mantener una razonable compatibilidad con teorías bien corroboradas", "No elegir supuestos deductivamente estériles (fórmulas vagas y/o singulares), sino las más fuertes compatibles con los hechos", "No elegir como postulados proposiciones disyuntivas ni modales: hay que comprometerse", etc. Pero todas esas recomendaciones son negativas: se oponen a procedimientos que no prometen nada, pero no indican cuáles son los prometedores. Además de esas órdenes negativas podemos pensar en un conjunto de desiderata, como la consistencia interna, la predecibilidad máxima, la profundidad explicativa (cf. sec. 15.7). Pero ni el consejo negativo ni los desiderata positivos constituyen reglas de la construcción efectiva de teorías científicas, por efectivos que puedan ser unos y otros en la *estimación* de los programas teóricos o de las teorías terminadas. Las recomendaciones y los desiderata serán de mucha ayuda, pero no pueden dar de sí la concepción de una nueva teoría; para esto se requieren los órganos adecuados y no reglas que, por lo demás, son lógicamente imposibles.

Si alguien arguye que ha producido efectivamente una teoría científica con la sola ayuda de los datos y un conjunto de reglas de descubrimiento y/o invención, tendremos que concluir o bien que no sabe exactamente qué quiere decir 'teoría', o bien que se ha engañado a sí mismo. Esta conclusión negativa sobre la "lógica de la investigación científica" y la "técnica de la construcción de teorías" no debe desanimar, sino, por el contrario, animar a investigar la mecánica *real* de la concepción científica y los desiderata o ideales que deben satisfacer las teorías científicas, así como las razones por las cuales tales construcciones deben satisfacer tales o cuales condiciones en vez de otras. Un tal estudio requiere un planteamiento interdisciplinario: exige la cooperación de lógicos, filósofos, psicólogos, sociólogos e historiadores de la ciencia, en trato con teorías científicas reales. Los resultados de esa investigación pueden ayudar a los científicos a entender lo que están haciendo, y pueden por tanto ayudarles a mejorar su propio trabajo o, al menos, a evitar estrategias estériles. Pero no hay una técnica para inventar construcciones científicas, igual que no la hay para dar a luz genios.

En cambio, sí que hay dos técnicas claras para liquidar una teoría: una para eliminar sus raíces experienciales y otra para demolerla de una vez. Para minar el apoyo experiencial que tiene una teoría basta con eliminar todos los conceptos teoréticos de nivel bajo (como "trayectoria") dejando sólo los de nivel alto (como "masa"): de este modo la teoría deja de ser susceptible de contrastación. Piénsese en una teoría psicológica sin conceptos conductivistas ni fisiológicos y que juegue el juego incontrolable del "alma", la "consciencia", el "complejo", la "motivación" y la "represión": una tal doctrina es pura especulación. Generalmente, las teorías especulativas no tienen una motivación empírica desde el principio: una tal "base" se evita simplemente o se busca a posteriori, en forma de ilustraciones o casos favorables. Por tanto, es posible que no se haya aplicado nunca esa operación de minado de la teoría; sin embargo, esa operación es concebible como truco para salvar a alguna teoría de refutación empírica.

La demolición de teorías ha sido en cambio seriamente propuesta por empiristas, convencionalistas, pragmatistas y otros filósofos sostenedores de las tesis de que (*i*) la experiencia ordinaria es más segura que la teoría científica y, por tanto, preferible a ella,

y (*ii*) el único objetivo de la teorización debería ser la producción de condensaciones económicas de la información y de guías para la acción. *Una versión ligeramente modificada de la mejor técnica disponible (la de W. Craig) para la demolición de las teorías opera del siguiente modo. Se toma una teoría propiamente dicha, o sea, un sistema hipotético-deductivo T, que no dejará de contener conceptos teoréticos. Se derivan y reúnen todos los teoremas de nivel más bajo, o sea, los que pueden compararse con información empírica. Luego se sustituye en ellos todo término teorético por la correspondiente expresión empírica. Por ejemplo, si uno de los teoremas es acerca de un *rayo* de luz (concepto no-empírico) que cae sobre un *plano* (concepto no-empírico) con un determinado *ángulo* α (concepto no-empírico), se traduce por un enunciado referente a un estrecho *pincel* de luz que cae sobre una *superficie intermedia* con un *intervalo angular* $[\alpha - \varepsilon, \alpha + \varepsilon]$, siendo ε el error experimental. O sea, hay que tomar todo "resultado neto" t de la teoría y traducirlo por un enunciado t^* formulado en el lenguaje del experimentador, igual que se procedería si, en vez de reconstruir la teoría, se estuviera preparando su contrastación empírica. Luego se manejan esos enunciados observacionales t^* como ladrillos de una teoría-parodia T^*, libre de conceptos supuestamente inseguros ("expresiones auxiliares"), y, por tanto, aceptable para los filósofos de tendencia anti-teorética: cf. figura 8.4.

Más precisamente: tomar como axiomas de la nueva "teoría" T^* las conjunciones t^* & t^* & ... & t^* de los teoremas de T traducidos a lenguaje empírico. Si la teoría original T es lo suficientemente rica, habrá infinitos teoremas y, por tanto, infinitas traducciones de ellos. Además: si T contiene por lo menos una magnitud continua, como la longitud, el conjunto $\{t\}$ de los teoremas será infinito y no numerable; pero el conjunto $\{t^*\}$ de sus traducciones posibles a lenguaje empírico será infinito numerable, porque la medición no da más que números racionales, los cuales son numerables (cf. sec. 13.2). En cualquier caso, la teoría "expurgada" T^* contendrá infinitos axiomas. Esta infinita complejidad formal (y sin interés) quedará más que compensada por su pobreza epistemológica.

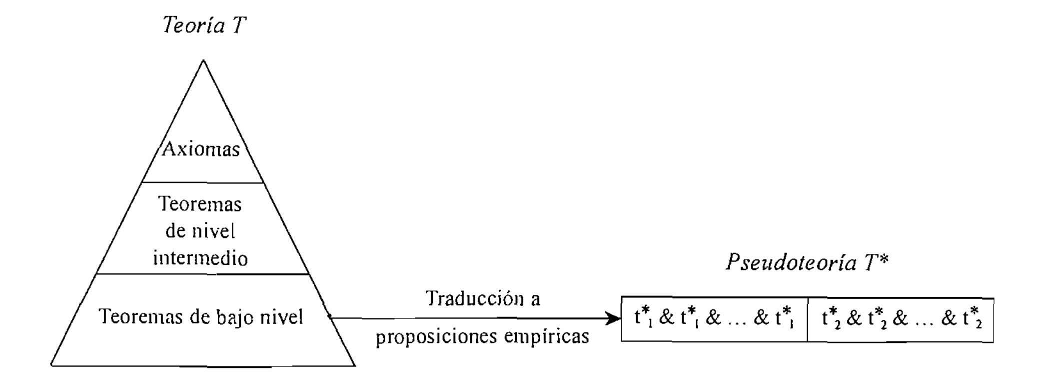


FIGURA 8. 4. La técnica de demolición de teorías de Craig. Se ha ilustrado el caso de una teoría sin variables continuas.

El procedimiento recién descrito no es una técnica para *construir* teorías de un cierto tipo, a saber, teorías que satisfagan estrechas exigencias empiristas o convencionalistas. En primer lugar, la teoría "expurgada" T^* no es en absoluto una teoría, puesto que no permite deducciones. Al no ser un conjunto de fórmulas parcialmente ordenado por la relación de deducibilidad, T^* deja de satisfacer las definiciones de "teoría" aceptadas en la lógica y en la ciencia (cf. sec. 7.3). En segundo lugar, la traducción T^* de T no contiene conceptos teoréticos y, por tanto, no se aplica al modelo ideal o esquematización que constituye el tuétano de las teorías (cf. sec. 7.1). Consiguientemente, T y T^* no pueden referirse a lo mismo; por ejemplo, si T refiere a electrones, T^* referirá acaso a sus huellas visibles en una nube. Esta diferencia en cuanto al correlato –y, por tanto, en cuanto a significación– es, desde luego, característica de toda teoría de objetos empíricamente inaccesibles (aunque tenidos por reales), desde los electrones hasta las naciones. En tercer lugar, la pseudoteoría T^* no puede construirse directamente a partir de los datos, y, por tanto, no satisface tampoco la exigencia inductivista: efectivamente, T^* presupone T, que es un sistema multinivel que hay que destruir antes de que sus ruinas puedan disponerse como una alfombra de la "teoría" T^*. *Esta técnica de demolición de teorías, lejos de probar* que los conceptos teoréticos, las hipótesis no-observacionales y las teorías son eliminables, da, pues, el tiro de gracia a todo intento de trivializar la ciencia eliminando sus conceptos e hipótesis trasempíricos.

Atendamos ahora a una tarea constructiva, a saber, el estudio del uso de las ideas matemáticas como instrumentos de la construcción de teorías.

Problemas

8.1.1. Discutir alguna teoría especulativa propuesta con la creencia en que es científica, y averiguar qué distingue la especulación científica de la que no lo es. Recuérdense las secs. 5.5 y 5.6. *Problema en lugar de ése*: Examinar la teoría de la decisión expuesta en el texto y determinar si sus conceptos clave (utilidad y probabilidad subjetivas) están bien definidos (son exactos) y si la teoría es empíricamente contrastable. Cf. M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Sciences*, New Haven, Yale University Press, 1996, cap. 14 y apéndice 4.

8.1.2. Discutir la exposición de las operaciones sucesivas de la construcción de teorías por P. Duhem, *La théorie physique*, París, Rivière, 1914, parte I, cap. 2. *Problema en lugar de ése*: Discutir la diferencia entre el discurrir en zig-zag de la real construcción de teorías y su presentación final, o sea, entre la teoría natural y la teoría formalizada o semiformalizada.

8.1.3. Estimar la importancia relativa del descubrimiento y la invención. Indicación: Empezar por caracterizar y ejemplificar los conceptos de descubrimiento e invención, y establecer una distinción entre ciencia experimental y ciencia teórica. *Problema en lugar de ése*: Lo "dado" es para el teórico un conjunto de candidatas a hipótesis de descubridor. Su tarea consiste en "descubrir" hipótesis de nivel superior (lógica y/o epistemológicamente más fuertes) a partir de las cuales puedan deducirse las hipótesis de descubridor. ¿Hay reglas para inferir a la inversa (retroducción) esos supuestos iniciales? Dicho de otro modo: ¿Hay una lógica de la invención teórica, o podemos al menos esperar que se invente esa lógica? Recordar la observación de A. Einstein citada por R. S. Shankland, *Nature*, *171*, 101, 1953: "No hay, desde luego, camino lógico que lleve al establecimiento de una teoría, sino sólo intentos constructivos por tanteo controlados por una cuidadosa consideración del conocimiento factual." ¿Está justificado el uso que hace Einstein de 'desde luego'?

8.1.4. Una vez establecido que ni los datos ni la lógica llevan a la teoría, ¿qué decir de los enunciados generales legaliformes (por ejemplo, el de la conservación de la energía) y de los enunciados metanomológicos (por ejemplo, la independencia de los enunciados legaliformes respecto del observador)? ¿Desempeñan algún papel en la construcción de teorías? *Problema en lugar de ése*: Discutir las recomendaciones negativas para la construcción de teorías dadas en el texto. Por lo que hace al evitar la presencia de enunciados negativos entre los axiomas cf. sec. 7.2. Por lo que hace a los enunciados modales, tener en cuenta que "posiblemente *p*" puede ponerse en conjunción con 'posiblemente no-*p*" sin entrar en contradicción, de tal modo que un mismo dato puede dar apoyo a los dos enunciados a la vez.

8.1.5. Examinar la opinión según la cual una teoría científica no es más que un simple sumario de descubrimientos empíricos. ¿Es una opinión verdadera? ¿Es una guía eficiente para la construcción de teorías? ¿O es más bien un anticonceptivo de las teorías? *Problema en lugar de ése*: Bastantes años antes de inventar su monumental teoría del campo electromagnético, J. C. Maxwell estipuló las condiciones que tenía que satisfacer una tal teoría y, por tanto, el objetivo de un tal proyecto teorético. Esas condiciones eran: la nueva teoría tenía (*i*) que suministrar las leyes conocidas en sus dominios de validez, (*ii*) ampliarlas más allá de ese dominio, y (*iii*) interrelacionarlas. Cf., por ejemplo, su artículo "On Faraday's Lines of Force", 1856, en *Cientific Papers*, Cambridge University Press, 189, I, pp. 155-156: "No puede presentarse ya ninguna teoría eléctrica que no muestre la conexión no sólo entre la electricidad estática y la corriente eléctrica, sino, además, entre la atracción y los efectos de inducción eléctrica en los dos estados. Una tal teoría tiene que satisfacer cuidadosamente las leyes cuya forma matemática conocemos, y tiene que suministrar los medios para calcular los efectos en los casos límites en los cuales las fórmulas conocidas son inaplicables." Su propia teoría satisfizo esos desiderata estipulados anticipadamente. Relacionar este caso con la opinión de que toda teorización es una mera sistematización de informaciones de observación y se hace sin plan previo ni condiciones previamente impuestas al resultado.

8.1.6. ¿Qué es más conveniente para el progreso de la ciencia: la construcción de teorías limitadas, pero contrastables, o la de esquemas grandiosos, pero vagos y casi incontrastables, según la tradición de la física y la psicología aristotélicas? *Problema en lugar de ése*: Examinar la crítica según la cual la psicología y la sociología contemporáneas, por el hecho de haber decidido construir las teorías paso a paso y pieza por pieza, y teorías que suponen modelos muy idealizados de los hechos, constituyen un retroceso respecto de la psicosofía y la sociosofía del siglo XIX.

8.1.7. Tomar una teoría científica, identificar sus primitivas específicas y agruparlas en conceptos de nivel bajo (de "observación"), conceptos de nivel intermedio ("directamente inferibles") y conceptos de nivel alto (construcciones). *Problema en lugar de ése*: E. Mach, B. Russell y A. N. Whitehead, P. W. Bridgman y R. Carnap, S. S. Stevens, N. Goodman y varios otros pensadores eminentes han propuesto con insistencia el programa que consiste en sustituir los conceptos y fórmulas teoréticos por términos y fórmulas observacionales o por construcciones lógicas basadas en los datos sensibles. Estimar ese programa a la luz (*i*) de la historia del empirismo británico, (*ii*) de la historia del positivismo lógico, en la forma en que culmina con el Círculo de Viena, (*iii*) de la historia de la física, la química y la biología contemporáneas, y (*iv*) del teorema de Craig sobre la supuesta eliminación de conceptos teoréticos.

8.1.8. Tomar una teoría científica, elegir un par de teoremas de nivel bajo de la misma y decidir si pueden considerarse como enunciados de observación propiamente dichos o si contienen ya conceptos teoréticos. En el lenguaje del texto: tomar un par de teoremas, t_1 y t_2, de una teoría científica (de una teoría existente, no una de esas que los filósofos se complacen en inventar *ad hoc* para ilustrar sus opiniones), y determinar si esos enunciados pueden confrontarse directamente con datos empíricos o si es necesario traducirlos antes por enunciados cuasi-observacionales, t^*_1 y t^*_2, respectivamente. *Problema en lugar de ése*: examinar la difundida doctrina según la cual si

se realiza durante todo el tiempo necesario una deducción a partir de los supuestos de alto nivel de una teoría se terminará automáticamente con enunciados de observación, o sea la idea de que la deducción, si se lleva lo suficientemente lejos, nos trasladará de la teoría a la experiencia.

8.1.9. Examinar alguno de los siguientes artículos: (*i*) F. P. Ramsey, "Theories", en *The Foundations of Mathematics*, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1931; (*ii*) W. Craig, "Replacement of Auxiliary Expresions", *Philosophical Review*, LXV, 38, 1956. Determinar, ante todo, si alguna de esas teorías de la teoría se aplica a teorías científicas existentes o si suponen más bien que toda teoría científica contiene fórmulas en las que no aparecen conceptos teoréticos ("auxiliares"). (Recuérdense los problemas 8.1.8.). Como el que esto escribe no conoce ninguna teoría de esas características, en el texto ha expuesto la técnica de Craig con la adición de que todo teorema se traduce a un lenguaje semiempírico que no es el de la teoría. Discutir el cambio de significación realizado al pasar de T a T^*. *Problema en lugar de ése*: Según el trabajo de Craig, la "sustitución" de conceptos teoréticos se paga al precio de una complejidad formal infinita. Discutir la importancia de este resultado para el principio de simplicidad. En particular, determinar si la tesis de la simplicidad es compatible con el fenomenismo, tal como se presentan ambos, por ejemplo, en el libro de N. Goodman, *The Structure of Appearance*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1951. Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, caps. 4 y 5.

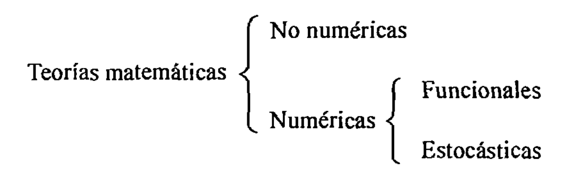
8.1.10. Discutir las tesis siguientes sobre la tarea del filósofo respecto de la teoría científica. (*i*) "El deber de los filósofos es montar la guardia en las puertas de la teoría científica para impedir la entrada de elementos lejanos de la experiencia." (*ii*) "Los filósofos no tienen que inmiscuirse en las teorías científicas; lo mejor que pueden hacer es aprender alguna de ellas e imitarla." (*iii*) "Los filósofos tienen derecho a examinar críticamente toda teoría científica, e incluso a proponer nuevos accesos a la construcción de teorías, siempre que estén familiarizados con el tema de su investigación."

8.2. MATEMATIZACIÓN

Prácticamente toda especialidad científica cuenta hoy con matemáticos entre sus empleados. En las ciencias poco desarrolladas suele apelarse a los matemáticos una vez conseguidas las observaciones, con objeto de que elaboren los datos. Se supone, en efecto, que la elaboración de datos es una manipulación numérica, la cual comprimirá y organizará los elementos de información hasta conseguir leyes; algunos llegan a creer que el matemático conseguirá resolver los datos hasta que aparezca una teoría completa, con todos sus requisitos. Esta suposición es errónea: no hay que llamar al matemático *in articulo mortis*, cuando ya se ha terminado la recolección de datos sin el beneficio de ideas claras; y tampoco hay que esperar que el matemático destile una teoría a partir de los datos, porque las teorías no son emanaciones de los datos. Si el matemático cumple correctamente su tarea estadística puede ser útil, pero también puede no serlo: la cosa depende del científico que haya planeado la observación, de las ideas que se supone confirman los datos, o de las que se suponen destruidas, así como de la significación e importancia de los datos. Si el matemático consigue producir una teoría que dé razón de un haz de datos, entonces es que ha hecho él el trabajo que se supone realizado por el científico especializado, esto es: habrá sido el matemático el que ha inventado el conjunto de hipótesis que

implican de algún modo los datos. En este proceso la matemática habrá suministrado cierto número de formas ya hechas en las que colocar ideas sustantivas. Todo esto tiene una clara moraleja: el científico tiene que aprender él mismo matemáticas y no consultar al matemático más que para los problemas específicamente matemáticos, los cuales tiene que saber plantear él mismo de modo puramente formal. Dicho brevemente: la matemática es de suma utilidad en la ciencia como instrumento para la construcción de teorías, pero no como sucedáneo de la teoría.

Dada una clase de hechos –o, por mejor decir, un conjunto de datos de los que se supone que informan acerca de hechos– pueden construirse diversas teorías para representarlos. Las teorías más precisas, aunque no necesariamente las más verdaderas, serán las matemáticas, o, más exactamente, teorías sustantivas con elementos matemáticos. Una teoría matemática de la ciencia factual es una teoría cuyos supuestos iniciales se expresan matemáticamente –son fórmulas matemáticas, en lo que respecta a su forma–, de tal modo que sus consecuencias pueden derivarse por los procedimientos matemáticos de deducción (cálculo) que están en gran parte normados. Puede hacerse una primera y grosera dicotomía entre las teorías matemáticas distinguiendo las numéricas de las no-numéricas; las primeras contienen variables numéricas. Los conceptos clave de las teorías matemáticas no numéricas son algebraicos (por ejemplo, relación ordenadora) o de teoría de conjuntos (por ejemplo, inclusión entre clases); son las teorías más simples, pero no se han desarrollado sino recientemente: aún tenemos que aprender a pensar según esas teorías básicas. Las teorías matemáticas numéricas, que son, con mucho, las más complejas y difundidas en la ciencia, utilizan sobre todo el álgebra clásica y el análisis. Pueden a su vez dividirse –interesándonos ya por el problema ontológico del determinismo– en funcionales y estocásticas. Los supuestos de las teorías funcionales son fórmulas que relacionan las variables numéricas que representan cada una alguna propiedad del modelo ideal manejado por la teoría; por ejemplo, en una teoría puede representarse el organismo como una función que proyecta un conjunto de factores *(inputs)* en un conjunto de productos *(outputs)*. En las teorías estocásticas (o probabilísticas) las fórmulas son también funcionales, pero una por lo menos de las variables es casual (estocástica), o sea, es una variable que toma cualquiera de sus valores con una cierta probabilidad. Tenemos así la siguiente división:



En las ciencias del hombre las teorías formuladas matemáticamente se llaman a menudo *modelos matemáticos*, quizás para evitar la ambigüedad del término 'teoría matemática', que puede entenderse en el sentido de una parte de la matemática o en el de una teoría factual que utiliza fórmulas matemáticas. Otro motivo de preferir 'modelo' a 'teoría' puede ser el deseo de advertir al lector que se está construyendo un rudo esquema, un boceto idealizado, más que un fiel retrato de una parcela de realidad; pero esta adverten-

cia es prácticamente superflua para todo el que esté familiarizado con las teorías científicas. Una tercera razón puede ser el deseo de diferenciar la propia especulación, no realística, pero sobria, de los locuaces y confusos "sistemas" de tipo tradicional que aún se consideran teorías en las ciencias del hombre. Una cuarta razón puede ser el pudor que los científicos educados en la tradición empirista sienten ante las teorías: según esa tradición el científico se ocupa de los "hechos consistentes", y no de "meras teorías", pero tiene derecho a descansar jugando con "modelos". Los físicos, que empezaron a aprender el lenguaje de las matemáticas al mismo tiempo que los matemáticos mismos, no suelen hablar de *modelos* matemáticos, ni siquiera de teorías *matemáticas* en su terreno: para ellos está claro que las ideas físicas más importantes tienen que expresarse matemáticamente. Por eso hablan simplemente de física teórica –para distinguirla de la física experimental– y reservan la expresión 'física matemática' para designar la investigación de problemas puramente matemáticos que se presentan en la física teórica, los cuales tienen un interés instrumental para los físicos, pero escaso para los matemáticos puros, como no sea en su condición de posible fuente de otros problemas matemáticos. El mismo proceso de maduración ocurrirá probablemente en lo que ahora llamamos 'biología matemática', 'psicología matemática' y 'sociología matemática': es posible que un día se las llame biología teorética, psicología teorética y sociología teorética respectivamente. Esto puede ocurrir cuando el actual y revolucionario proceso de matematización de esas ciencias haya adelantado tanto que ningún teórico de ellas necesite disculparse de inventar modelos abreviados, ni de formular las propiedades de esos modelos en un lenguaje matemático.

Un científico matemáticamente preparado tenderá espontáneamente a estructurar sus teorías en lenguaje matemático, aunque no sea más que porque encontrará más claro y más fácil ese lenguaje que la correspondiente formulación verbal en lenguaje común, la cual será imposible en numerosos casos. Cuando se ha gustado una vez la precisión, el poder deductivo y la elegancia formal, el paladar se niega al alimento en bruto y tiende a pensar que lo *prematemático* es *preteorético.* De hecho, la matematización no depende tanto de la materia u objeto cuanto (*i*) del estado de la disciplina, (*ii*) de que el científico se dé cuenta de que no pueden construirse teorías sin olvidar detalles e inventar modelos esquemáticos, y (*iii*) de la base matemática de la educación del científico. Es inútil intentar la matematización de una disciplina antes de existir un cuerpo mínimo de teoría científica y de claridad conceptual: imaginamos lo que habría sido un intento de matematizar la química antes de Lavoisier. Una vez obtenido un grado mínimo de madurez, la matematización posibilitará una ulterior clarificación y un mayor desarrollo; los conceptos se afinarán por la mera "traducción" de los enunciados verbales a fórmulas matemáticas. Consiguientemente, el fracaso en el intento de matematizar un campo de conocimiento puede ser un índice del estado confuso de ese campo o de las limitaciones del teórico. Un científico social con una formación y un punto de vista clásicos, puede ser aficionado a la vaga pomposidad y enemigo del acceso matemático a la construcción de teorías, mientras que un sociólogo de formación matemática tenderá naturalmente a pensar de modo matemático. Y sólo esto puede permitirle el concebir un modelo ideal de su objeto, esto es, un conjunto de relaciones *determinadas* entre variables *determinadas.*

Por ejemplo: puesto ante el problema de la comunicación en el seno de grupos huma-

nos o animales, el científico social con formación matemática puede proponer un modelo centrado en la hipótesis de que los contactos entre individuos son casuales (como se supone en el modelo de elección de A. Rapoport). El científico social de mentalidad tradicional se aterrará tal vez ante esta enorme simplificación: ¿no sabemos todos, en efecto, que jamás elegimos a las demás personas accidentalmente? ¿En qué circunstancias se producen el amor y el odio? ¿No son la casualidad y la elección recíprocamente incompatibles? El científico de orientación moderna contestará probablemente, y en primer lugar, que nuestro encuentro y nuestra elección de (o, en general: nuestra comunicación con) otras personas *son,* como puede probarse, azarosos en gran medida; en segundo lugar, que un modelo de elección al azar tiene la clara ventaja de mostrar en qué medida nuestro efectivo comportamiento comunicativo *no* es casual, puesto que las desviaciones de las predicciones del modelo respecto de la evidencia empírica sugerirán una elección deliberada en vez del encuentro accidental; en tercer lugar, que esas discrepancias pueden mostrar cuáles son los caminos para conseguir teorías más adecuadas de la comunicación en el seno de los grupos; y, en cuarto lugar, que un modelo casual es relativamente sencillo y debe, por tanto, ponerse a prueba antes de construir otro modelo más complicado.

Un conato de matematización o de construcción de modelos matemáticos, por poco realista que sea, es preferible a una descripción prolija que no aclare nada o a un esquema verbal grandioso e impreciso. Los que reprochan a los científicos sociales matematizadores el ser poco realistas muestran (*i*) una falta de la perspectiva histórica necesaria para juzgar una empresa naciente, *(ii)* una falta de familiaridad con el principal objetivo de la teorización, que no es la reproducción o sumarización detallada de la experiencia, sino la comprensión de ésta, y (*iii*) una falta de familiaridad con la naturaleza de la teoría factual, cuyo núcleo es un modelo, o sea, una representación conceptual, más o menos esquemática, de un sistema real complejo (cf. sec. 7.1).

La simplicidad no tiene nada malo mientras no se la confunda con un objetivo absoluto. La simplicidad, rasgo de las teorías jóvenes, no puede ser un objetivo de la teorización porque la simplificación es el desprecio de rasgos reales, de tal modo que los modelos más simples pueden ser los menos realistas (cf. sec. 8.1). Pero la simplificación en un *medio* para posibilitar el trabajo teorético; cuando se ha mostrado que una teoría es aproximadamente verdadera, es posible complicarla, o sea, enriquecerla en un intento de mejorar su adecuación. Así, por ejemplo, la teoría de los gases empezó representando un gas como una colección de libres partículas puntuales; la mejora siguiente consistió en sustituir las partículas puntuales por esferas elásticas, y en introducir débiles fuerzas entre ellas; con eso se pasó a tener en cuenta luego la estructura interna de las moléculas, y una vez puestos en ese camino no se ve ya dónde puede terminar el perfeccionamiento de la teoría.

Las simplificaciones inherentes a la teorización se aprecian con particular evidencia en el caso de las teorías matemáticas de la ciencia factual. La simplificación se producirá en ellas, ante todo, ya en la selección de las variables básicas y de sus relaciones, o sea, en la construcción del modelo; pese a ello, el modelo puede resultar aún demasiado complejo para obtener de los supuestos consecuencias sometibles a contrastación. En este caso hay que introducir simplificaciones más o menos brutales, la mayoría de las cuales consiste en simplificar o hasta despreciar términos enteros de alguna ecuación.

*Por ejemplo, los axiomas de la dinámica de los fluidos y de la teoría de la gravitación no son lineales; y hasta las soluciones exactas de las ecuaciones lineales pueden ser demasiado complejas para fines de interpretación, aplicación o contrastación, de modo que el experimentador y el tecnólogo añadirán corrientemente otras simplificaciones más a las ya hechas por el teórico. En esos casos la comparación de la teoría dada, T, con la evidencia empírica, e, no se hace directamente a través de la deducción de consecuencias contrastables (por ejemplo, predicciones) de T, sino a través de una *teoría intermedia* T_n que constituye una aproximación de orden n a T y que da soluciones s_n, exactas en T_n y sólo aproximadas en T (cf. fig. 8.5). Dicho brevemente, aunque la teoría se haya construido sacrificando montañas de detalles, pueden ser necesarias ulteriores simplificaciones para manejarla empírica o aplicativamente, a menos que se inventen nuevas técnicas matemáticas de cálculo más poderosas que las anteriores.*

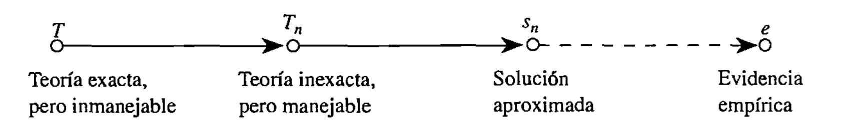


FIGURA 8.5. La contrastación empírica de una teoría que tenga supuestos iniciales muy complejos (pero que se suponen también muy precisos) exige la construcción de una teoría intermedia más simple con problemas efectivamente resolubles.

La generalización es también muy visible en el caso de los modelos matemáticos. Esto se comprende fácilmente al recordar que la generalización puede conseguirse (*i*) despreciando ciertos aspectos o abstrayendo de ellos, y/o (*ii*) desinterpretando, vaciando de contenido factual. La primera vía hacia la generalización premia, por así decirlo, el olvido de la complejidad real, y, como hemos visto, es un rasgo característico de la construcción de modelos matemáticos. La segunda técnica de generalización –la abstracción– puede aplicarse en cuanto que se ha construido un "modelo" matemático, sin más que ignorar las reglas de interpretación que le dan un contenido específico. Por ejemplo: es posible construir una teoría general del contagio que recubra toda clase de procesos de difusión de algo: epidemias, costumbres, rumores, creencias y lo que sea. Los supuestos básicos de la teoría son: (*i*) Todo individuo "infectado" se convierte en agente de contagio, y (*ii*) Habrá tantos más individuos "infectados" cuantos más candidatos (o sea, individuos "no infectados") queden. Esas dos ideas pueden unirse en un axioma único: La tasa de cambio de la fracción de individuos "infectados" es proporcional a la fracción de individuos ya "infectados" y a la fracción de individuos aún "no infectados". (La misión de las comillas consiste aquí en recordar que no se está pensando en ningún proceso particular de contagio.)

*Salvo por lo que hace a la falta de símbolos precisos, el último enunciado es esencialmente matemático, porque contiene variables determinadas, definidas, y una relación definida entre ellas y que puede traducirse fácilmente a lenguaje matemático. Llamemos $C(t)$ a la fracción de individuos "infectados" en el momento t, y $DC(t)$ a la tasa de incre-

mento de esta fracción también en el tiempo t. ($DC(t)$ no es un concepto independiente, sino que es definible en base a C y t por medio del concepto de límite; efectivamente, $DC(t)$ es la derivada de $C(t)$ respecto de t. Si no contáramos con el cálculo infinitesimal, tendríamos que introducir la tasa de contagio como concepto propio independiente, o sea, como una primitiva más.) Con esos símbolos nuestro axioma puede simbolizarse por la siguiente ecuación:

$$DC(t) = kC(1-C), \qquad 0 \leq C \leq 1, \qquad k > 0 \qquad [8.1]$$

(La segunda fórmula, que determina el campo de C, es en realidad un axioma más.)*

*Al escribir las anteriores fórmulas hemos supuesto tácitamente las siguientes reglas de interpretación:

$$I(t) = \text{tiempo}, \; I(C) = \text{fracción de contagio}.$$

En cuanto a la constante k, por el momento no tiene más interpretación que la matemática; es un coeficiente de proporcionalidad. Para poder aplicar el cálculo infinitesimal hacemos un *supuesto auxiliar* que es típico de los procedimientos de matematización: pretendemos, en efecto, que $C(t)$ y $DC(t)$, que en realidad son variables discretas, puedan ser objeto de aproximación mediante variables continuas sin que se produzcan distorsiones de importancia (cf. fig. 8.6). Esta simplificación es sin duda una abierta violación de los datos de observación, pero, sobre todo, no consiste en una mera ignorancia de detalles: consiste en la introducción de un concepto teorético –a saber, $C(t)$– por medio del cual se construye un modelo que resulta razonablemente adecuado siempre que se trate de una comunidad o población grande, pues en este caso la variación discontinua de $DC(t)$ puede obtenerse con aproximación mediante una variación continua.

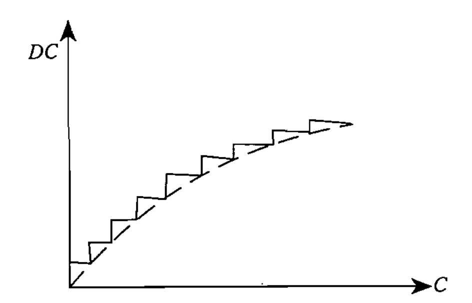


FIGURA 8.6. El proceso real de contagio en una población se produce por saltos, discontinuamente: es la línea llena; su representación matemática es en cambio continua (línea punteada).

En la ecuación del contagio, [8.1], podemos leer algunos rasgos de este proceso que no estaban ni mucho menos obvios y manifiestos en la formulación del supuesto básico en el lenguaje ordinario. En primer lugar, si $C = 0$, entonces $DC = 0$; o sea: para que empiece el proceso de contagio tiene que haber al menos un portador. En segundo lugar,

el máximo de la tasa de contagio, que es $k/4$, se alcanza cuando se encuentra afectada la mitad de la población. En tercer lugar, a partir de ese punto la tasa de contagio desciende, y alcanza el 0 cuando está "enferma" toda la población (cf. fig. 8.7). El mero enunciado matemático del supuesto básico, junto con la técnica elemental de la representación gráfica, ha sido, pues, una fuente de nueva información. Si queremos utilizar plenamente la potencia deductiva de la matemática tenemos, de todos modos, que resolver la ecuación para $C(t)$. Y, por último, tenemos que trazar esta solución y comparar la curva teórica con los datos empíricos: éste es un tratamiento ya común y de rutina aplicado a todo modelo matemático. El resultado es:

$$C(t) = 1/(1 + Ae^{-kt}) \qquad [8.2]$$

fórmula en la cual el valor de la constante de integración A puede determinarse a partir de la condición inicial $C(0)$. El gráfico que representa la función $C(t)$ es la curva logística, que describe cierto número de procesos de "contagio', biológicos, sociales e incluso históricos, como la expansión territorial de los imperios (cf. fig. 8.7). Si la solución supera la contrastación empírica, declaramos que el supuesto básico [8.1] ha quedado confirmado hasta nuevo aviso.*

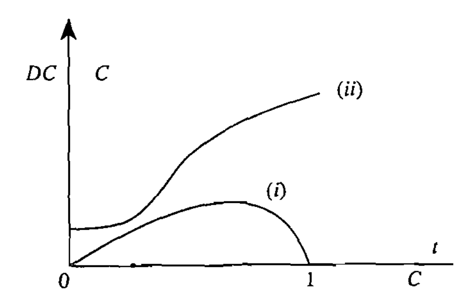


FIGURA 8.7. (*i*) La curva de contagio que visualiza la ecuación [8.1]. (*ii*) La curva logística que representa la función [8.2].

Pero no hay que detenerse una vez conseguida la confirmación, esto es: no hay que darse por satisfechos con la falta de evidencia desfavorable. Hay que intentar suministrar *evidencia positiva de un tipo más profundo.* En el caso de la teoría del contagio esa evidencia favorable y más profunda se conseguiría hallando un *mecanismo* plausible del contagio. Dicho de otro modo: incluso en el caso de que una teoría fenomenológica del contagio supere la contrastación empírica, intentaremos reforzarla y comprenderla construyendo una teoría *representacional* subyacente a ella. El contagio por contacto es una hipótesis razonable para una tal teoría más profunda. Ahora bien: 'contacto' es un término vago; tenemos que afinarlo si es que deseamos en serio teorizarlo. El modo menos comprometido de hacerlo consiste en introducir el concepto cuantitativo de probabilidad de contacto, p, entre un individuo "infectado" y otro "no-infectado". Otra teoría aún más profunda especificará el modo de contacto y la clase de "germen" trasmitido durante el

mismo; pero la introducción de la nueva primitiva p bastará para construir una teoría más profunda que la fenomenológica inicial, porque apunta a un nivel que se encuentra por debajo del efecto neto de los contactos entre individuos. De hecho, la hipótesis de sentido común "El contagio es por contacto" puede analizarse del modo siguiente: (*i*) La tasa de aumento de la fracción "infectada" es proporcional a la probabilidad de contactos entre individuos "infectados" y "no-infectados"; (*ii*) La probabilidad de contacto es proporcional a la fracción de individuos "infectados" y a la de "no-infectados"

*La base de la nueva teoría es pues:

$$C1 \quad DC(t) = k_1 p \qquad [8.3]$$
$$C2 \quad p = k_2 C(1-C), \quad 0 < k_2 \leq 1, \quad 0 \leq C \leq 1 \qquad [8.4]$$

con las reglas de interpretación de la anterior teoría más

$I(p)$ = probabilidad de contacto entre un individuo "infectado" y otro "no-infectado".*

La primera teoría tenía dos primitivas –t y C– y un axioma principal. La nueva teoría tiene tres primitivas –t, C y p– y dos axiomas principales. La teoría matemática que subyacía a la primera era el análisis; la segunda teoría presupone además la teoría de la probabilidad, y es por tanto más rica formalmente. Como la nueva teoría –que es estocástica– tiene más fórmulas, puede dar lugar a más contrastaciones. Tal vez la nueva variable pueda controlarse independientemente, y acaso los dos supuestos básicos de la teoría sean contrastables por separado. Por eso mismo –o sea, por tener más consecuencias refutables por la observación– la nueva teoría es mucho menos cierta que la anterior. Y es que cuanto menos digamos más podemos esperar parecer sabios. Pero hay que preferir la segunda teoría a la primera precisamente porque es más plenamente contrastable y porque suministra una comprensión más profunda del proceso de contagio.

El abandono del primer planteamiento, el fenomenológico, ha llevado a un análisis más profundo. Pero ese análisis no puede ser el final: hemos formulado la hipótesis de que el contagio es por contacto; pero no hemos especificado cuál es la materia (o la información) que se trasmite durante el contacto, ni hemos dado detalles sobre el proceso de contacto. En particular, hemos tratado de probabilidad de contacto como un dato último, mientras que una teoría más profunda la consideraría como una función, digamos una función de la configuración espacial y de la movilidad de los agentes, así como de su inmunidad y de la virulencia del "material" trasmitido. Dicho brevemente: en esa teoría más profunda la probabilidad se consideraría como una propiedad física resultante de propiedades más fundamentales, como una especie de efecto último de una serie de factores. En cuanto que se hacen esas especificaciones, en cuanto que se introducen nuevas hipótesis sobre el mecanismo de contagio, se puede obtener una teoría más profunda y más realista. Pero hay que pagar un precio por ella: se perderá el amplio campo de validez de la inicial teoría fenomenológica, porque ahora se subrayarán las *diferencias* específicas entre los procesos de contagio, en vez de atender, como antes, a sus analogías; en algunos casos se tratará de la comunicación de información, en otros de trasmisión de

energía, en otros de trasmisión de gérmenes, etc. Con las nuevas teorías sabremos más acerca de menos. (Sobre la alternativa fenomenológico/representacional, cf. sec. 8.5; sobre la complementariedad extensión/profundidad, cf. sec. 9.6.)

Ahora podemos ya estimar las ventajas de las teorías matemáticas sobre las verbales. Enumerémoslas.

1. *Utilidad para la construcción de teorías.* La matemática suministra símbolos ya fijados que, interpretados adecuadamente, pueden usarse en cualquier ciencia; recuérdense, por ejemplo, los conceptos de intersección de conjuntos y de probabilidad. La formulación de los supuestos factuales en un lenguaje matemático adecuado y su sometimiento a elaboración matemática –algo así como poner los huevos de la observación en el nido de la matemática y dejar que ésta los incube –es un procedimiento tanto más valioso cuanto más pobres son los supuestos sustantivos o factuales: se pueden conseguir teorías muy desarrolladas manejando modestos supuestos iniciales con poderosos instrumentos matemáticos. La ventaja de esta técnica del cuclillo no debe, sin embargo, cegarnos por lo que hace a la pobreza sustancial de las ideas iniciales –ceguera que se puede ejemplificar con una gran parte de la psicología y la física contemporáneas. Por otro lado, en cuanto que aumenta el número de variables y se hacen más complejas las relaciones entre ellas, la matemática se impone, porque resulta lisamente imposible manejar sin su ayuda un modelo complejo. Ésta es una de las razones por las cuales es imposible popularizar y divulgar las ecuaciones básicas de la física teorética, pese a los heroicos esfuerzos por formularlas en lenguaje ordinario. Piénsese, por ejemplo, en una de las ecuaciones de Maxwell,

$$\nabla \times H = (1/c)\frac{\partial D}{\partial t} + 4\pi j.$$

Si la matematización no fuera más que una especie de traducción –una mera reformulación simbólica cuidadosa–, sería posible vertir esa ecuación en palabras. Pero no lo es.

2. *Precisión.* Tómese una proposición como "El desarrollo del conocimiento depende del cuerpo de conocimiento disponible", que no es más impreciso que las conjeturas típicas de la mayoría de las ciencias del comportamiento. Esa proposición puede entenderse en el sentido de que el conocimiento disponible causa, o hace posible al menos, su propio crecimiento, o en el sentido de que ambas variables, el conocimiento y la tasa de crecimiento del conocimiento, dependen de una tercera variable no mencionada. Aun suponiendo que la primera interpretación sea la adecuada, queda sin especificar la forma de la dependencia afirmada: el enunciado verbal es compatible con infinitas matematizaciones, todas las cuales caen bajo el esquema "$DC = f(C)$", fórmula en la cual 'DC' designa la tasa de crecimiento del cuerpo de conocimiento, C, y 'f' la aludida dependencia (cf. problema 8.2.8). Generalizando: detrás de una sola teoría verbal puede haber una infinidad de teorías precisas. Dicho de modo menos optimista: las teorías verbales no son teorías plenamente interpretadas, sino sistemas parcialmente interpretados; sólo los "modelos" matemáticos pueden ser o llegar a ser sistemas semánticos plenos. (Sobre la diferencia entre teoría abstracta y modelo, cf. sec. 7.4). Consiguientemente, las teorías no matemáticas que tanto abundan en las ciencias del hombre son, hablando propiamente,

esquemas indeterminados: cada uno de ellos es potencialmente un conjunto infinito de teorías –todas precisas, pero por nacer. Según esto, la indeterminación semántica de las teorías prematemáticas es infinita: esas teorías pueden servir, en el mejor de los casos, como guías preliminares para la construcción de teorías determinadas. Pero repitamos también aquí una advertencia: la precisión no debe identificarse con el rigor cuantitativo. Todo enunciado cuantitativo es exacto, pero la recíproca no es verdadera, como muestra cualquier enunciado referente a la inclusión entre clases o a la precedencia. Moraleja: las teorías matemáticas no cuantitativas rinden, en cuanto a precisión, lo mismo que las cuantitativas.

3. *Potencia deductiva.* En el lenguaje ordinario es tan difícil llevar a cabo deducciones bien elaboradas –e incluso controlarlas– como formular relaciones complejas; y tan difícil es averiguar si una determinada conclusión se sigue de los supuestos explícitos, sin necesidad de premisas tácitas. Intuitivamente no puede identificarse más que las implicaciones más obvias; pero las que no son obvias pueden resultar las más importantes, y requerir especiales técnicas deductivas. Recuérdese que Newton tuvo que inventar el cálculo infinitesimal para poder probar su conjetura de que sus ecuaciones del movimiento, junto con su ley de gravedad, *implicaban las órbitas de Kepler.*

4. *Contrastabilidad.* La precisión y la potencia deductiva producen la contrastabilidad: cuantas más consecuencias lógicas –y más precisas– tiene una teoría, tanto mejor se presta a contrastaciones empíricas. En cambio, las teorías verbales pueden ser casi irrefutables. Una proposición como "y depende de x" queda confirmada siempre que y no sea independiente de x; por tanto, es compatible con una gran variedad de hallazgos empíricos. Pero una confirmación tan barata tiene muy poco valor, como no sea en cuanto indicio, como sugestión para buscar una relación precisa de dependencia entre y y x.

5. *Ventajas metateoréticas.* Una formulación precisa en lenguaje matemático es lo que mejor puede sacar a la luz las inconsistencias y la falta de independencia de las primitivas o de los supuestos iniciales.

6. *Comparación con teorías rivales.* La región de desacuerdo entre teorías alternativas para un mismo tema puede localizarse del mejor modo si están matematizadas; y lo mismo vale por lo que hace a la comparación de sus virtudes y defectos respectivos. Se tiene, además, la ventaja de que la matematización puede minimizar –aunque acaso no eliminar– los tonos emocionales y las consideraciones extracientíficas que suelen producirse en esas comparaciones.

Tras haber cantado las excelencias de la matematización, tenemos ahora que poner en guardia contra un par de erróneas creencias sostenidas por acríticos entusiastas de la matematización, desde Pitágoras hasta Eddington. La primera de ellas es la que piensa que la matematización coincide con la formulación en el lenguaje de la matemática cuantitativa, como el álgebra clásica y el análisis. Sin duda la mayoría de las personas está más acostumbrada a la matemática clásica, que es predominantemente cuantitativa, y, por tanto, encuentra más cómodo el formular las hipótesis cuantitativamente; además, las hipótesis cuantitativas son del tipo más preciso. Pero la aplicación de la matemática cuantitativa exige un alto nivel de la investigación empírica, y seguramente se podría acelerar la marcha de la investigación intentando aplicar las herramientas, más débiles, de la matemática relacional cuando las cosas no están aún maduras para planteamientos más precisos.

Otra de esas creencias consiste en pensar que el tratamiento matemático de un tema asimila éste a la matemática. Por esta razón la mecánica racional –el primer campo plenamente matematizado de la física– se consideró hasta hace poco como una rama de la matemática. Son visibles los resultados positivos de esta confusión: algunos de los cerebros matemáticos más potentes se aplicaron a la mecánica e hicieron progresar esa materia. El daño producido por la confusión fue menor, pero apreciable: pasaron a primer plano muchos problemas puramente académicos y la ciencia pareció inmune a toda refutación empírica, hasta el punto de que la crítica a la mecánica newtoniana se tomaba a veces como un insulto a los matemáticos. Esa opinión es errónea, como puede ver obviamente todo el que recuerde que, a diferencia de las teorías de la matemática pura, las teorías factuales contienen reglas de interpretación que establecen una correspondencia entre símbolos y conceptos de los que se supone que representan objetos no matemáticos, por ejemplo, propiedades físicas. La idea de que "el número y la figura" producen por sí mismos la verdad se basa parcialmente en la difundida confusión entre *verdad* y *validez.* Si los supuestos de una teoría son factualmente verdaderos, entonces también lo son sus teoremas; la validez de la deducción asegura la conservación de la verdad. Pero, como es natural, no podemos saber si los axiomas son verdaderos; lo más que podemos esperar es que algunas de sus consecuencias resulten razonablemente compatibles con la evidencia empírica. Además, no vale la afirmación inversa: un mismo teorema puede quedar implicado por infinitas bases axiomáticas distintas; si $\{A\} \vdash t$, entonces también $\{A, B\} \vdash t$, siendo B una fórmula cualquiera. La matematización asegura la validez de las derivaciones y permite una comprobación fácil y cómoda de las mismas. Pero los axiomas pueden ser falsos aunque estén formulados impecablemente; e incluso, hablando estrictamente, son necesariamente falsos, puesto que se refieren a un modelo altamente idealizado.

La creencia en que la matemática garantiza la verdad está tan extendida que puede valer la pena presentar una teoría matemáticamente correcta y factualmente vacía: la siguiente *teoría axiomática de los fantasmas.*

Primitivas específicas

U, un conjunto de fantasmas; E, la energía fantasmal; d, la densidad ectoplásmica; t, la edad del fantasma; y N el número de perversidades realizadas por un fantasma en la unidad de tiempo.

Axiomas

*A*1. Para todo x de U, la energía de x es directamente proporcional a la densidad del ectoplasma de x e inversamente proporcional a la edad de x:

$$E = k_1 \, d/t, \qquad t > 0, k_1 > 0.$$

*A*2. Para todo x de U, la densidad del ectoplasma de x es una función lineal del número de perversidades que x realiza en la unidad de tiempo:

$$d = k_2N + d_0, \qquad k_2 > 0,\ d_0 > 0.$$

*A*3. Para todo *x* de *U*, el número medio de perversidades realizadas por *x* en la unidad de tiempo es constante:

$$N_{MED} = k_3, \qquad k_3 > 0.$$

Los teoremas más interesantes se siguen inmediatamente.

*T*1. Por *A*1 y *A*2,

$$E = k_1\ (k_2N + d_0)\ /t.$$

*T*2. Por *A*3, después de un periodo *T* el número de perversidades aumenta hasta

$$N(T) = N_{\text{MED}}\ T = k_3T.$$

*T*3. De *T*1 y *T*2 se obtiene la energía fantasmal tras un periodo *T*:

$$E(T) = k_1\ (k_2 k_3T + d_0)\ /\ T = k_1k_2k_3 + k_1d_0/T.$$

*T*4. Por *T*3, para un *T* que se aproxime a infinito, la energía tiende a

$$E_\infty = k_1k_2k_3 = \text{constante}.$$

O sea, que los fantasmas se mantienen gracias a la perversidad. Lo cual concuerda con la evidencia. Por otro lado, *T*4 es contra-intuitivo, si se tiene en cuenta *A*1. Dicho de otro modo: *A*1 mismo es contra-intuitivo, como normalmente debe serlo todo supuesto de nivel alto.

El anterior ejemplo debería dejar en claro que la matematización no es sin más el método científico. No hay método científico sin contrastación empírica, y la matemática, aunque sin duda refuerza la contrastabilidad, no es ella misma una contrastación, sino que, por el contrario, es ajena a todo procedimiento empírico. La matemática no basta, pues, en sí misma, para constituir la ciencia; pero en toda disciplina acaba por alcanzarse un punto más allá del cual no pueden conseguirse progresos importantes si no se utilizan instrumentos matemáticos para construir y elaborar las teorías. Dicho de otro modo: aunque la matemática no garantiza la cientificidad, el método científico acarrea un aumento o intensificación del uso de los conceptos y las teorías de la matemática.

A pesar de lo cual la matematización no es el estadio final que puede alcanzar una teoría. Lo que corona realmente la teorización es la formalización completa, a la que vamos a atender ahora.

Problemas

8.2.1. Revisar los volúmenes del *Journal of Theoretical Biology*, el *Journal of Mathematical Psychology*, *Journal of Quantitative Linguistics*, o los de *Operational Research Management Science*, o *Applied Mathematical Modelling*, e informar brevemente sobre las teorías matemáticas expuestas en ellos.

8.2.2. Resumir y comentar algunas de las teorías expuestas en las siguientes obras: (*i*) D'A. W. Thompson, *On Growth and Form*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1942, especialmente lo relativo a la magnitud y a la teoría de las transformaciones. (*ii*) J. M. Smith, *Mathematical Ideas in Biology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1968. (*iii*) H. Solomon (ed.), *Mathematical Thinking in the Measurement of Behavior*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1960. (*iv*) L. B. Leopold "Rivers", *American Scientist*, 50, 511, 1962. (*v*) "Symposium on Mathematical Theories of Biological Phenomena", *Annals of the New York Academy of Sciences*, *96*, 895, 1962. (*vi*) J. G. Kemeny y J. L. Snell, *Mathematical Models in the Social Sciences*, Boston, Ginn, 1962. (*vii*), R. D. Luce, R. Bush y E. Galanter, *Handbook of Mathematical Psychology*, Nueva York, Wiley, 1963ss., 3 vols., y *Readings in Mathematical Psychology*, Nueva York, Wiley, 1963ss., 2 vols.

8.2.3. Bastantes personas se oponen a la construcción de modelos matemáticos en las ciencias del hombre. ¿Por que? Examinar, entre otras, las siguientes explicaciones alternativas pero compatibles unas con otras. (*i*) Porque piensan que lo humano es demasiado complejo para poder matematizarlo: "No es posible comprimir la riqueza del hombre en una fórmula, ni sujetar a leyes su libre voluntad". (*ii*) Porque ignorar la matemática y, consiguientemente, ésta les asusta. (*iii*) Porque la construcción de "modelos" matemáticos en las ciencias del hombre *a*] pone de manifiesto, por contraste, la vaciedad teorética de las escuelas tradicionales, y *b*] pone en peligro las varias ideologías tradicionales porque acostumbra a la gente a pensar con precisión.

8.2.4. Examinar la argumentación de Kant contra la posibilidad de convertir la psicología en una ciencia: toda ciencia propiamente dicha es cuantitativa; la psicología no puede cuantificarse; luego la psicología no puede llegar a ser científica. *Problema en lugar de ése*: Se ha afirmado que la elaboración de una "teoría parapsicológica de campo" que estuviera matematizada establecería el carácter científico de esa actividad. Estimar esa pretensión.

8.2.5. Un argumento frecuentemente usado contra la utilización de la matemática en la construcción de teorías acerca del hombre es que muchas de las teorías así construidas han fracasado. ¿Establece eso la futilidad del planteamiento mismo, o más bien y simplemente el limitado éxito de los intentos hechos hasta el presente? En general: los fracasos en la realización de los programas científicos, ¿prueban la inadecuación de éstos? Si no es así, ¿cómo podemos estimar críticamente esos programas? *Problema en lugar de ése*: Se sostiene o supone corrientemente que la matemática propia de la psicología y la sociología es la "finitista". ¿Es eso una verdad eterna?

8.2.6. Matematizar la siguiente teoría sociológica en miniatura hallada en el libro de H. Zetterberg, *On Theory and Verification in Sociology*, y reimpresa en P. Lazarsfeld y M. Rosenberg, *The Language of Social Science*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1955.

A 1 Cuanto mayor es la división del trabajo, tanto mayor es la solidaridad.
A 2 Cuanto mayor es la solidaridad, tanto mayor es la uniformidad.
A 3 Cuanto mayor es el número de miembros del grupo, tanto mayor es la división del trabajo en él.

Intentar la siguiente matematización del impreciso enunciado relacional "cuanto mayor es x, tanto mayor es y": $y = kx$, con k constante. Derivar algunos teoremas. Comparar, por último, los resultados que se obtengan con los conseguidos por el propio Zetterberg sin usar la matemática.

8.2.7. La hipótesis de que la tasa de crecimiento del cuerpo de conocimiento C es proporcional al tamaño del cuerpo de conocimiento mismo puede escribirse del modo siguiente:

$$dC = aCdt$$

fórmula que puede leerse: el incremento dC del conocimiento en el intervalo de tiempo dt es proporcional al volumen C del conocimiento disponible y al intervalo de tiempo. Con la ayuda del cálculo integral deducimos

$$C(t) = C(0)e^{at},$$

siendo $C(0)$ el cuerpo del conocimiento disponible en el momento $t = 0$. El gráfico de esa función, que se muestra en la figura 8.8, es la curva de crecimiento real del número de periódicos científicos publicados durante el último siglo, por ejemplo. Es también la curva que representa la llamada ley de crecimiento cultural acelerado (siendo la aceleración relativa a^2), hallada por los antropólogos al registrar los datos. Preguntas: (*i*) ¿A qué disciplina pertenecen las anteriores consideraciones? (*ii*) ¿Tienen alguna consecuencia para la epistemología? (*iii*) ¿Cuáles son las diferencias entre las ecuaciones de crecimiento diferenciales e integrales? (*iv*) ¿Qué es más ventajoso: partir de las primeras o de las últimas? (*v*) La producción de conocimiento, ¿satisface la ley económica de los rendimientos decrecientes?

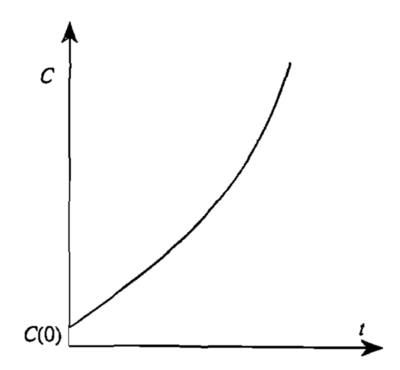


FIGURA 8.8. Crecimiento exponencial del conocimiento científico, estimado por la masa de literatura científica.

8.2.8. Elaborar y discutir la siguiente generalización de la ecuación del incremento del conocimiento presentada en el problema anterior. Sea el conjunto de referencia un conjunto de N unidades en comunicación recíproca (personas, profesiones, etc.) capaces de aprender y de producir conocimiento. Denotemos por C_i la cantidad de conocimiento (o de aprendizaje) de la unidad i-ésima. Supongamos que la velocidad dC_i/dt con que la unidad i-ésima aprende (o contribuye al conocimiento) es una función lineal de lo conocido por esa misma unidad (o sea, $a_{ii}C_i$), de lo conocido por los otros miembros del conjunto (esto es, de $\sum_{j \neq i} a_{ij}C_j$) y de la velocidad con la cual aprenden o crean conocimiento esos otros miembros del conjunto (o sea, de $\sum_{j \neq i} b_{ij}dC_j/dt$). Forma de la ecuación:

$$dC_i/dt = \sum_{j=i}^{N} a_{ij}C_j + \sum_{j \neq i}^{N} b_{ij}\, dC_j/dt$$

Ése es un sistema de N ecuaciones diferenciales ordinarias, que puede aplicarse al aprendizaje y al crecimiento del conocimiento en cualquier situación caracterizada a la vez por la competición y la cooperación. El primer término del miembro de la derecha de cada ecuación representa la transmisión de conocimiento, y es responsable del carácter acumulativo del crecimiento del conocimiento. El segundo término de ese mismo miembro de la derecha representa la estimulación (por emulación, por ejemplo) o la inhibición (por ejemplo, por discriminación y secreto) del conocimiento; representará procesos de involución, de estancamiento o de revolución según sean los signos de los coeficientes *bij*. Los $2N^2$ coeficientes a_{ij} y b_{ij} son resúmenes fenomenológicos de ciertas propiedades de las unidades supuestas; esas propiedades deben presentarse explícitamente a un nivel de análisis más profundo. En cualquier caso, resumen capacidades innatas, las propiedades de los canales de comunicación y de los métodos de aprendizaje que les hacen estimular o inhibir el crecimiento del aprendizaje y/o del conocimiento.

8.2.9. Analizar y ejemplificar los cuatro usos de la matemática (discursivo, normativo, funcional y estructural) en psicología según G. A. Miller, *Mathematics and Psychology*, Nueva York, Wiley, 1964.

8.2.10. Ilustrar y analizar las siguientes afirmaciones de J. L. Synge en *Geometrical Optics: A Introduction to Hamilton's Method*, Londres, Cambridge University Press, 1937, p. 1: "Una teoría científica 'perfecta' puede describirse como una teoría que procede lógicamente a partir de unas pocas hipótesis simples hasta llegar a conclusiones en acuerdo completo con la observación, dentro de los límites de precisión de ésta... A medida que aumenta la precisión de las observaciones, una teoría deja de ser 'perfecta': se introducen modificaciones que hacen a la teoría más complicada y menos 'útil'... en realidad el hombre ha creado siempre teorías 'ideales'. La naturaleza es demasiado complicada para considerarla si no es en forma simplificada o idealizada, y es inevitable que esa idealización lleve a discrepancias entre la predicción teorética y la observación". *Problema en lugar de ése*: Las simplificaciones y exigencias impuestas por la construcción de "modelos" matemáticos y/o por la solución de sus supuestos iniciales, ¿justifican la doctrina convencionalista (o neokantiana) de que todas nuestras teorías son *ficciones*, en el sentido de falsificaciones deliberadas y autocontradictorias de la realidad, sin más control que su utilidad? Puede verse una exposición completa del ficcionismo en H. Vaihinger, *Die Philosophie des Als Ob*, 4a. ed., Leipzig, Meiner, 1920. Advertencia: no asustarse.

8.3. *RECONSTRUCCIÓN (FORMALIZACIÓN)

Se dice que una teoría está *lógicamente reconstruida* o *plenamente formalizada* si su base está formulada de un modo exacto y total. La formalización completa de una teoría consiste en la formulación simbólica (no verbal) explícita y completa de los axiomas de la teoría, y en la formulación o mención más plena posible de los supuestos y las reglas de la teoría; estas últimas se formulan en el metalenguaje de la teoría, el cual no suele ser un lenguaje formalizado. Simbólicamente:

$$\text{Formalización} = \text{Simbolización} + \text{Axiomatización} + \text{Reglas} + \text{Supuestos}$$

La axiomatización comprende la enumeración (pero no la dilucidación explícita) de los símbolos primitivos y la definición explícita de los conceptos derivados. Las reglas

que deben formularse, o mencionarse al menos, son las normas de formación y transformación de las fórmulas complejas (éstas son las reglas sintácticas) y las normas de interpretación (que son las reglas semánticas). Por lo que hace a los presupuestos de una teoría rara vez se mencionan, si no es en la ciencia formal; pero es deseable hacerlo si se quiere evitar la perplejidad en que se sumen tantos filósofos cuando se les muestra la simplicidad de la base de algunas teorías imponentes.

Pocas veces se intenta también la formalización completa, si no es en las ciencias formales, las cuales han suministrado siempre el paradigma de la formalización desde que Euclides creyó (erróneamente) que había formalizado por completo la geometría, y aún más desde que Hilbert (también equivocándose) pensó que la formalización puede agotar una teoría y ser, por tanto, final, terminal, no corregible. La mera enumeración de los presupuestos de una teoría puede ser todo un problema en el caso de las teorías factuales, las cuales presuponen no sólo instrumentos formales (lógicos y/o matemáticos), sino también ideas pertenecientes a otras teorías factuales; además, los presupuestos no pueden verse muchas veces sino a la luz de ulteriores desarrollos. Pero el hecho de que la mayoría de las veces las uvas estén verdes no disminuye en nada su valor. La axiomatización del núcleo de una teoría es deseable aunque no sea más que porque posibilita o favorece el reconocimiento de la independencia de los axiomas y de la consistencia, además de suministrar un criterio exacto de demostración. Y la formalización añade a esas ventajas la enumeración explícita de los presupuestos y las reglas que, en otro caso, podrían aceptarse tácita y acríticamente: al formularlas de un modo explícito es más posible tenerlas bajo control. Cuanto más adelante se lleva la formalización, tanto más constrictiva se hace la argumentación y tanto mejor pueden darse los métodos no-empíricos de contrastación de la adecuación de la teoría. En resolución: la reconstrucción lógica o formalización equivale a poner las cartas encima de la mesa e invitar a un examen crítico perfeccionador.

Ejemplifiquemos esas ideas. Nuestra primera ilustración será una teoría matemática poco sustanciosa: la teoría de la *cuasi-ordenación*, o *congruencia*. Expondremos sólo los *fundamentos* de la teoría, prescindiendo de sus definiciones y teoremas.

0. *Presupuestos*
   La lógica elemental (el cálculo proposicional y el cálculo de predicados –o cálculo funcional– de primer orden con identidad) y la teoría elemental de conjuntos. Este cuerpo de presupuestos suministra, entre otras cosas, los signos lógicos de la teoría: las conectivas $\&$ y $\rightarrow$; el cuantificador universal $(x)_u$, que se lee 'para todo x de U'; y los *signos* auxiliares '(' y ')'.

1. *Primitivas* (alfabeto)
   Una constante que designa un conjunto, $U = \{x, y, x, \ldots\}$
   Una relación binaria: $\sim$.

2. *Reglas de formación* (sintaxis de las fórmulas)

   *FR*1 '$x \sim y$' es una fórmula correcta o bien formada (fbf).

*FR*2 Toda fórmula compuesta de fbf, o fórmulas correctas, y una o más conectivas lógicas es un fbf, o fórmula correcta.

*FR*3 La generalización universal de una fbf es una fbf.

3. *Reglas de transformación* (sintaxis de la derivación o deducción)

TS Si en una fbf se subroga una variable individual por cualquier otra variable del mismo tipo se obtiene una nueva fbf (y precisamente un teorema trivial).

(La enumeración de las reglas de formación y de transformación es redundante si se mencionan los presupuestos de la teoría. Aquí se han formulado esas reglas para seguir el uso corriente y para recordar que cuando se presupone o se toma como dado un sistema previo, se carga con todas sus reglas de formación y de transformación.)

4. *Axiomas* (supuestos iniciales)

*C*1 Para todo x de U, $x \sim x$ la congruencia es reflexiva; o sea;

$$(x)_U(x \sim x) \qquad [8.5]$$

*C*2 Para todo x, y y z de U, si $x \sim z$ e $y \sim z$, entonces $x \sim y$; o sea:

$$(x)_U(y)_U(z)_U(x \sim z \;\&\; y \sim z \rightarrow x \sim y) \qquad [8.6.]$$

5. *Interpretaciones*

Modelo 1: Congruencia de triángulos planos.

*RI*1 $I(U)$ = el conjunto de los triángulos planos.

*RI*2 $I(\sim)$ = es semejante a.

Modelo 2: Congruencia de cuerpos rígidos.

*RI*3 $I(U)$ = el conjunto de las varillas sólidas rígidas.

*RI*4 $I(\sim)$ = puede yuxtaponerse exactamente a.

Modelo 3: Descendencia.

*RI*5 $I(U)$ = todas las personas.

*RI*6 $I(\sim)$ = tiene un antepasado en común con.

Los fundamentos de una teoría formal (lógica o matemática) formalizada constan de *seis niveles:* los presupuestos, las primitivas, las reglas sintácticas de formación y transformación, los axiomas y las reglas de interpretación, si las hay; todo el resto de la teoría son definiciones o teoremas. Los fundamentos de una teoría factual formalizada pueden tener una estructura más simple: pueden pasarse por alto las reglas de formación y de transformación, porque van ya incluidas en las teorías lógicas y matemáticas subyacentes. Un procedimiento eficaz para mostrar cómo está construida una teoría factual formalizada consiste en presentar un ejemplo. Tomaremos como tal un fragmento de la

teoría del aprendizaje que se conoce con el nombre de *teoría del refuerzo*: empezaremos por exponer un esbozo de la teoría natural, o ingenua, y luego intentaremos formalizarla.

La hipótesis central de la teoría es la siguiente: "Las respuestas se refuerzan [esto es: se hacen preferibles para el organismo] por el premio, y se debilitan por el castigo". Para construir una teoría partiendo de ese supuesto utilizaremos el marco general de la teoría de la utilidad (cf. sec. 8.1). A base de esta teoría la hipótesis anterior puede reformularse del siguiente modo: "Se prefieren las respuestas de utilidad más alta [valor subjetivo]". Por de pronto, esto no es más que una versión fuerte del primer axioma de la teoría general de la utilidad expuesta en la sección 8.1. Para introducirlo en la psicología tenemos que afinar y especificar los conceptos de preferencia y utilidad y hacerlos objetivamente medibles. Con esta finalidad puede asignarse un número –al menos en sentido ordinal– a la utilidad $u(e, r)$ del efecto e asociado a la respuesta r. Análogamente puede asociarse otro número a la utilidad $u(-e, r)$ de la misma respuesta asociada a cualquier otro efecto posible (no-e). La preferencia se cuantificará con la ayuda del concepto de probabilidad: diremos que el efecto e se prefiere a cualquier otro resultado posible, $-e$, si la probabilidad (objetiva) de la respuesta r elegida para conseguir e aumenta de intento a intento. Llamando $P(r, t)$ a la probabilidad de que la respuesta r sea elegida por el organismo en el intento t-ésimo, la dilucidación de "preferencia" resulta: r se prefiere a $-r$ si y sólo si $P(r, t + 1) > P(r, t)$. Con la introducción del concepto de probabilidad nos aseguramos automáticamente la ayuda de la teoría de la probabilidad, lo cual proporciona determinación conceptual y potencia deductiva; al mismo tiempo se refuerza la contrastabilidad empírica de la teoría, porque la preferencia equivale ahora a aumento de la probabilidad y, para fines de contrastación, la probabilidad se interpretará como frecuencia a largo plazo, la cual es medible.

La hipótesis central de la teoría del refuerzo –"Se prefieren las alternativas de utilidad más alta"– puede escribirse ahora así:

$$u(e, r) > u(-e, r) \leftrightarrow P(r, t + 1) > P(r, t) \qquad [8.7]$$

Pero sigue tratándose de una hipótesis semicuantitativa (más precisamente: de una hipótesis ordinal): la hipótesis no formula cuál es exactamente el cambio del valor de P de intento a intento, y por eso no puede inferirse de ella gran cosa. Si queremos formular una teoría más rica tenemos que determinar más la inicial. Esto puede conseguirse admitiendo alguna función específica que relacione las probabilidades de intentos sucesivos. El supuesto más simple posible es que la razón de las probabilidades de una respuesta dada en dos intentos sucesivos sea constante, esto es, un número independiente del intento. Probemos, pues, el siguiente axioma muy simple (y, por lo tanto, suspecto);

Axioma $$u(e, r) > u(-e, r) \leftrightarrow P(r, t + 1) = kP(r, t), \quad k \geq 1 \qquad [8.8]$$

Esa fórmula recursiva nos permite calcular el cambio de la probabilidad en cualquier secuencia de ensayos. Efectivamente: para el segundo intento tenemos $P(r, 2) + kP(r, 1)$, y para el tercero $P(r, 3) = kP(r, 2)$. Introduciendo la primera ecuación en la segunda,

obtenemos $P(r, 3) = k^2P(r, 1)$. Y usando la técnica de la inducción matemática, obtenemos el teorema general:

Teorema 1 $$P(r, t) = k^{t-1} P(r, 1) \quad [8.9]$$

El cambio sucesivo y acumulativo debido a refuerzos sucesivos se obtiene fácilmente a partir de esa fórmula sustrayendo $P(r, 1)$ y dividiendo por el mismo número (de acuerdo con la definición de "cambio relativo");

Teorema 2 $$\frac{P(r, t) - P(r, 1)}{P(r, 1)} = k^{t-1} - 1 \quad [8.10]$$

Con la ayuda de la teoría de la probabilidad pueden establecerse otros varios teoremas: por ejemplo, teoremas sobre la probabilidad de respuestas alternativas $r \vee r'$ *y* respuestas conjuntas, r & r'. Éste es otro ejemplo de cómo una entera teoría factual puede producirse mediante el añadido de un solo supuesto específico (extramatemático) a un cálculo matemático, según aquella técnica del cuclillo antes aludida.

No nos interesará aquí el hecho de que en esa forma la teoría del refuerzo es demasiado simple para ser verdadera. Se obtendrá una teoría más realista complicando la hipótesis central –por ejemplo, eligiendo relaciones más complicadas– o sustituyéndola por otro supuesto completamente distinto. (Para empezar, $P(r, t + 1)$ no depende sólo de $P(r, t)$, sino también del efecto de t). Y se obtendrá una teoría más profunda si las probabilidades se relacionan de algún modo con conceptos biológicos sobre mecanismos nerviosos, por ejemplo. El anterior esbozo de teoría no tenía más sentido que el de servir como material para un ejercicio de formalización. He aquí una formalización posible:

0. *Presupuestos*
   Genérico: la lógica elemental y la teoría elemental de probabilidades (la cual presupone a su vez la teoría elemental de conjuntos y la aritmética).
   Específico: la teoría bernoulliana de la utilidad o, por lo menos, sus primitivas específicas, y ante todo el concepto genérico de utilidad, que se especificará más adelante.

1. *Primitivas específicas*
   Un conjunto R de *respuestas* r de un organismo.
   Un conjunto E de *efectos* e asociados a una respuesta dada r.
   Una sucesión T de *ensayos* t.
   La *utilidad* $u(e, r)$ de un efecto e asociado a una respuesta r.
   La *probabilidad* (objetiva) $P(r, t)$ de una respuesta r al t-ésimo ensayo.

2. *Axioma*
   $$(e)_E (r)_R (t)_T \, [u(e,r) > u(-e,r) \leftrightarrow P(r,t+1) = kP(r,t)], \quad k \geq 1 \quad [8.11]$$

3. *Regla de interpretación en lenguaje empírico*
   $R1$ El valor numérico de la probabilidad $P(r, t)$ se obtiene aproximadamente por

> la frecuencia relativa a largo plazo con la cual una amplia población de organismos análogos (por ejemplo, estudiantes de primer curso) elige la respuesta r en el t-ésimo ensayo. [Dicho de otro modo: las probabilidades de que se trata son objetivas.]

En realidad tendríamos que añadir reglas de interpretación para los otros cuatro símbolos primitivos de la teoría; pero no es necesario hacerlo en la práctica, porque las hemos pasado de contrabando, como suele hacerse, al enumerar las primitivas.

El fragmento de base teórica que acabamos de formalizar no contiene variables dimensionales, como "longitud" o "tiempo", salvo acaso "utilidad". Cuando una teoría contiene variables dimensionales se dice corrientemente que hay que añadir a los fundamentos de la teoría otro conjunto más de enunciados, a saber, todas las convenciones relativas a escalas y criterios de medición (de los cuales nos ocuparemos en el capítulo 13). Éstas pueden llamarse las *convenciones pragmáticas* incluidas en la contrastación empírica de una teoría. No las contaremos entre los fundamentos de la teoría, y ello por tres razones. En primer lugar, las convenciones pragmáticas son irrelevantes para la significación objetiva de la teoría, o sea, para su referencia: no son relevantes más que para la contrastación empírica de la teoría, y en esto, además, pueden cambiar según el tipo de contrastación empírica de la teoría, y en esto, además, pueden cambiar según el tipo de contrastación, mientras que la teoría no se altera por ello. En segundo lugar, la significación y el valor veritativo de una teoría son invariantes respecto de los cambios de escala. En tercer lugar, las unidades son, en cuanto criterios, convencionales, hasta el punto de que una de las exigencias que se ponen a las fórmulas legaliformes es que sean invariantes respecto de los cambios de unidad. Así, por ejemplo, las leyes newtonianas del movimiento no tuvieron que formularse de nuevo cuando la Revolución Francesa introdujo el sistema métrico decimal en el lugar de los varios sistemas medievales usados en tiempos de Newton. Las unidades y los patrones no intervienen en una teoría hasta que se introducen los datos, o sea, hasta que se establecen contactos con la experiencia. Por ejemplo: si nos referimos a la ley galileana general "$v = gt$" en algún lugar situado al nivel del mar y en el Ecuador, especificamos 'g' escribiendo 9,80 m/s^2, o bien 31,83 ft/s^2. Por todas esas razones diferimos la discusión de las convenciones pragmáticas hasta el capítulo 13.

En general, pues, podemos considerar que los *fundamentos de una teoría factual formalizada* constan de los siguientes niveles: los presupuestos, la lista de primitivas, los axiomas y las reglas de interpretación en lenguaje factual y/o empírico. El descubrimiento y el examen crítico de esos fundamentos con el mayor detalle posible es el objeto de la *investigación de fundamentos* o *investigación básica,* la cual es una intersección de la ciencia y la filosofía, lo que le acarrea el descuido de científicos y filósofos.

Una teoría factual se completa (idealmente) con el añadido de definiciones, teoremas y convenciones pragmáticas. En resumen, la composición de una teoría completamente formalizada es:

Fundamentos o base	*Presupuestos* (genéricos y específicos)	*Estructura primitiva*
	Primitivas (símbolos primitivos no definidos)	
	Axiomas (supuestos iniciales no demostrados)	
	Reglas de interpretación	
	Definiciones	
	Teoremas	
	Convenciones pragmáticas (p. ej., acerca de unidades)	

Los componentes formales, o no empíricos, de una teoría factual tienen que encontrarse entre los presupuestos (teorías lógicas y matemáticas) y en las definiciones. Los demás componentes de una teoría factual tienen contenido factual o referencia, aunque sea indirectamente. Las reglas de interpretación, que atribuyen una significación a las primitivas de la teoría y a veces también a algunos de sus términos definidos, indicarán parcialmente cuál es el referente de la teoría. La clase de referencia o universo del discurso se manifestará entre las primitivas y mostrará acerca de qué habla la teoría.

Si los referentes de la teoría no se mencionan cuando se interpretan las primitivas se produce un peligro grave de interpretación equívoca o errada (e incluso de interpretaciones múltiples en conflicto). Así, por ejemplo, si una teoría atómica trata del sistema complejo constituido por un átomo y un instrumento de medición, entonces algunos de los parámetros del último (variables clásicas) se presentarán explícitamente entre las primitivas de la teoría, y, consiguientemente, en las ecuaciones básicas (axiomas) de la misma. No se conseguirá nada bueno interpretando los teoremas a base de entidades y propiedades no mencionadas en la lista de primitivas o en las definiciones. Una tal interpretación, que no está garantizada por las reglas de interpretación iniciales y que afecta a símbolos que de hecho no se presentan en los supuestos iniciales, será una interpretación arbitraria. En particular, si el observador no se introduce en una teoría atómica *ab initio*, o sea, si los parámetros y la interacción del observador con el sistema que se supone observado no aparecen en las ecuaciones básicas, entonces no podrá decirse que la teoría se refiera a un objeto atómico emparejado con el observador –y aun menos que el objeto haya sido producido por el observador como por medio de un conjuro. Análogamente, los teoremas de la mecánica newtoniana no pueden interpretarse a base de los conceptos aristotélicos de potencia y lugar natural, porque estos conceptos no se presentan ni como primitivas ni como conceptos definidos en la mecánica newtoniana. Del mismo modo, el vitalista no tiene derecho a interpretar ningún teorema de la biología científica sobre la base de un hálito vital o de una fuerza inmaterial organizadora; si desea usar esos conceptos tiene que construir una nueva teoría que los contenga, y que muestre cómo se relacionan con propiedades observables. Proclamemos, en resolución, la siguiente *Regla*: No introducir de contrabando correlatos que no se presenten en los supuestos básicos. Esta regla es una especificación de la exigencia de cierre semántico formulada en la sec. 7.2. Parece una regla obvia, pero su violación es de hecho la fuente de toda una serie de erradas interpretaciones filosóficas de la ciencia, entre ellas la interpretación subjetivista de las relaciones de incertidumbre (cf. sec. 7.4).

Las primitivas de una teoría factual tienen que poseer significación *factual*, pero no

necesariamente una significación *operacional*, en el sentido de representar propiedades observables o medibles. Así, por ejemplo, la acción en mecánica, los potenciales en la teoría del campo, y la función en la teoría atómica carecen de significación operacional: no pueden medirse ni siquiera indirectamente, como ocurre con la masa, la resistencia eléctrica o el índice de refracción; sólo ciertos símbolos derivados tienen correlatos observables. Un convencionalista diría que tan sublimes construcciones no son más que útiles fuentes para obtener funciones que permiten a su vez obtener predicados de observación. Un realista contestaría que, además de ser, desde luego, importantes fuentes de predicados de nivel inferior, esas construcciones tienen un alcance factual aunque carezcan de correlato empírico. Y puede basar su afirmación en el papel que esas construcciones desempeñan en la teoría: todas ellas se manejan como propiedades de sistemas físicos, no como símbolos vacíos y sin fundamento. Así, por ejemplo, dada la acción queda determinada la clase de sistema físico a que se refiere una teoría; prescribir los potenciales de un campo es lo mismo que indicar la clase y el estado de ese campo; y al escribir la función ψ de un sistema se caracteriza su estado. Todas esas construcciones están, pues, coordinadas con correlatos reales desde el primer momento, y se tratan como propiedades iniciales de esos correlatos. El hecho de que estén lejos de la experiencia no prueba que sean ficciones, sino más bien que, tal como se dan, son inadecuadas para la descripción directa de la experiencia.

La presencia esencial (irremplazable) de construcciones (conceptos no-observacionales) en las teorías progresadas de la ciencia factual se debe a la estructura del mundo y al lugar del hombre en él, al hecho de que la experiencia humana no tiene acceso más que a hechos de dimensión intermedia, y sólo a algunos, que no son ni atómicos ni cósmicos. De hecho, todo fenómeno (hecho experienciable) es o bien (*i*) el efecto de decenas de miles de hechos microscópicos inobservables, o bien (*ii*) uno de un enjambre multitudinario de acontecimientos que constituyen un solo hecho de un sistema gigante inobservable, como la sociedad o el universo (cf. fig. 8.9).

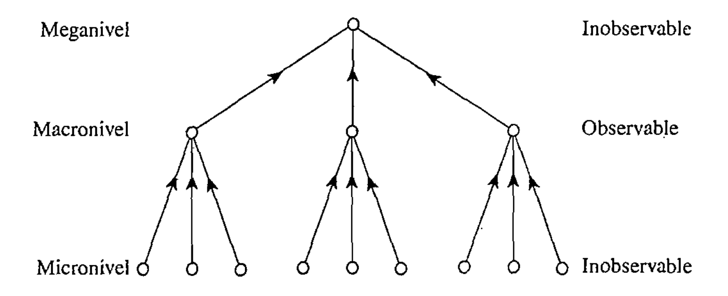


FIGURA 8.9. La experiencia humana: a medio camino entre el electrón y el cosmos.

En cualquiera de los dos casos los objetos mismos (los correlatos de la teoría), con todas sus propiedades, se encuentran fuera del alcance de la experiencia personal y tienen que ser, por consiguiente, objeto de hipótesis. Pero en ambos casos controlamos nuestras construcciones mediante la observación de lo que es observable.

Ahora bien: puesto que los observables no son recomendables como primitivas de teorías objetivas, no antropocéntricas, ¿de qué modo seleccionaremos los inobservables en la asombrosa selva de las construcciones posibles? Un criterio podría ser la elección de los conceptos mejor entendidos. Pero la comprensión o intuibilidad es en gran medida una cuestión personal y circunstancial; así, por ejemplo, el concepto de conjunto es para unos cristalinamente claro, y oscuro para otros. Además, si ese criterio se adoptara como principio de selección, no se introducirían jamás en la ciencia conceptos radicalmente nuevos: de hecho, lo nuevo no es familiar, y la novedad radical no puede introducirse sino en la base, o sea, en forma de conceptos o supuestos primitivos. ¿Aconsejaremos entonces la mayor libertad en la elección de las primitivas, como quieren los convencionalistas? En alguna medida eso es posible y deseable, especialmente en la ciencia formal: cualquier "exceso" es preferible al filisteo aferrarse a la experiencia familiar. Pero ni siquiera en el caso de los juegos abstractos se encuentra libertad completa. Incluso en ellos la elección de los conceptos básicos está determinada por el estadio del conocimiento y por los puntos de vista dominantes. Así, por ejemplo, el concepto de número natural, considerado como la primitiva por excelencia en la matemática del siglo XIX, fue luego desplazado por el concepto de conjunto.

Por lo menos en las ciencias factuales, la elección de las primitivas parece guiada por los siguientes desiderata, en gran parte tácitos: (*i*) *riqueza máxima*, o sea, máximo número de relaciones posibles con otros conceptos, de tal modo que puedan construirse ricos sistemas de fórmulas y definirse un gran número de términos en función de las nociones primitivas; (*ii*) *máximo grado de abstracción* (en sentido epistemológico), o sea, mayor distancia posible respecto de la experiencia inmediata, para que puedan construirse fórmulas de nivel alto y mucha generalidad; (*iii*) *máxima profundidad,* en el sentido de referencia a propiedades fundamentales u originarias que puedan dar razón del mayor número posible de propiedades derivadas.

Este último desiderátum puede relacionarse con el requisito lógico de riqueza, pero no coincide con él: la profundidad de un concepto está determinada por el lugar que ocupa su correlato en la estructuración objetiva de los niveles de la realidad. Pero sabemos muy poco acerca de esto. Por ejemplo: no sabemos si es un rasgo objetivo del mundo o un mero accidente histórico lo que nos lleva a considerar el tiempo, la posición y la masa como primitivas recíprocamente independientes. Nos defendemos mejor construyendo teorías que al intentar explicar por qué las construimos como lo hacemos.

¿Qué puede esperarse de la investigación de fundamentos? Formulada la pregunta de otro modo: ¿cuál es el objetivo y cuál es el resultado de la reconstrucción de teorías, o formalización? La reconstrucción racional de una teoría no suele arrojar nuevos resultados científicos de importancia, aunque puede dar algunos resultados laterales, por así decirlo, y frecuentemente revela errores básicos en la teoría natural considerada. La formalización tiene dos objetivos capitales: uno de ellos es teorético, el otro metateorético. El principal *objetivo teorético* de la formalización consiste en aportar o reforzar orden y claridad, eliminar redundancias, señalar vacíos y, en general, mejorar la lógica de la teoría. El *objetivo metateorético* de la formalización consiste en facilitar la investigación de la teoría misma, mostrando su estructura lógica, sus presupuestos y su contenido factual y empírico. Esto facilitará resueltamente la estimación y la crítica, así como, llegado el

caso, la corrección de la teoría. Tal es el valor práctico de la formalización, dejando aparte la satisfacción que el metacientífico pueda recibir de ella.

La lógica y la matemática modernas se han beneficiado enormemente de la formalización, pero hasta el momento no se han hecho más que intentos sueltos de formalizar fragmentos de teorías factuales. Ni siquiera la mecánica newtoniana están aún axiomatizada –por no decir ya formalizada– de un modo que satisfaga a todos los físicos. El sexto problema de Hilbert –la axiomatización de las teorías físicas– sigue sin resolver. Los mayores logros de la moderna ciencia factual se han conseguido sin formalización. De eso puede inferirse que la formalización no es necesaria para el progreso científico; que no es tampoco suficiente queda de manifiesto por el hecho de que la formalización no puede suplir ni la invención ni la contrastación. Pero todo eso no prueba que la formalización sea superflua, ni que toda la investigación de fundamentos sea un pasatiempo sin importancia: también el parto puede desarrollarse sin asepsia ni preparación para que tenga lugar sin los dolores y traumas psíquicos tradicionales, y eso no prueba que la asepsia y aquel condicionamiento carezcan de valor. La investigación de fundamentos tiene que acelerar el progreso teorético aunque no sea más que porque sólo cuando una teoría se ha formalizado en alguna medida –y no antes– podemos conjeturar qué supuestos tienen que restringirse, flexibilizarse, alterarse o abandonarse pura y simplemente. La formalización no puede sustituir la concepción y no produce teorías perfectas, pero sí que suministra las formulaciones más adecuadas para un examen crítico, lo cual es un requisito previo del progreso científico. Además, la formalización ilumina la naturaleza de la teoría; por eso puede esperarse de ella que facilite la construcción teorética. Y por último –pero no en el último lugar de importancia–, la formalización es una tarea constructiva que los filósofos pueden realizar en cooperación con los científicos: por eso tendría que contribuir a infundir al científico una actitud filosófica y a los filósofos una actitud científica, con lo que contribuiría también a cerrar la vieja guerra entre la ciencia y la filosofía.

Problemas

8.3.1. Formalizar una sencilla teoría lógica o matemática, como la teoría de la identidad. Poner luego a prueba una interpretación (por ejemplo, de la identidad como igualdad empírica o fenoménica): o sea, averiguar si la teoría interpretada encaja con los hechos.

8.3.2. La geometría se definía tradicionalmente como la ciencia de las figuras, y casi todos los tratados de geometría contienen figuras. Además, la mayoría de las demostraciones utilizan figuras en la geometría elemental. De eso parece haber inferido Kant que las figuras son indispensables para el razonamiento geométrico. Hasta muy a finales del siglo XIX no se descubrió que Euclides había empleado algunas proposiciones que no se presentan entre sus axiomas ni se siguen de ellos, sino que están materializadas en algunas figuras que utiliza. ¿Prueba eso que las figuras sean esenciales para la geometría y, consiguientemente, que ninguna parte de la geometría pueda formalizarse? ¿O prueba más bien (*i*) que la geometría elemental tiene modelos concretos y (*ii*) que la enseñanza de la geometría se facilita mediante el uso de modelos visuales? *Problema en lugar de ése*: Discutir la tesis de que la formalización tiene un efecto intimidatorio, que paraliza la crítica y que sería mejor que los artículos científicos se escribieran como narraciones autobiográficas. Cf. J. W. N. Watkins, "Confession is Good for Ideas", en D. Edge (ed.), *Experiment*, Londres, BBC, 1964.

8.3.3. Informar acerca de uno de los pocos casos en que los presupuestos de una teoría factual se mencionan explícitamente, a saber: la teoría de la terminología de parentesco propuesta por G. P. Murdock en su *Social Structure*, Nueva York, Macmillan, 1949, pp. 130-138. *Problema en lugar de ése*: Por lo menos tres clases de fórmulas no han recibido lugar alguno en nuestro tratamiento de las teorías formalizadas, aunque son relevantes para las teorías: problemas, datos e hipótesis filosóficas. ¿Por qué?

8.3.4. Las teorías físicas no especifican el valor de constantes universales como la velocidad de la luz, la carga del electrón o la unidad de acción; pero cuando esas teorías se aplican o someten a contrastación se introducen los valores numéricos precisos de esas constantes. ¿Por qué? *Problema en lugar de ése*: Especular acerca de la clase de conceptos primitivos que uno escogería si fuera del tamaño de un átomo o del de una galaxia (suponiendo, un tanto audazmente, que en esos casos uno pudiera especular).

8.3.5. Examinar los siguientes argumentos en favor y en contra de la presentación formal de un tema científico en la enseñanza media y superior. (*i*). "La tarea de demostración de teoremas se facilita notablemente si se enumeran y aducen explícitamente los axiomas, las definiciones y las reglas: así recibe el estudiante un punto de partida y un asidero firme". (*ii*) "Sólo estableciendo vínculos con la experiencia puede conseguirse una comprensión del tema: por tanto, el acceso intuitivo al mismo es más eficiente que el formal". ¿Afectan esos argumentos al mismo aspecto de la cuestión? ¿Son realmente incompatibles? *Problema en lugar de ése*: ¿Sería posible explicar la ebullición del agua o la agitación en Oriente Medio con teorías que no contuvieran conceptos trasobservacionales?

8.3.6. Discutir la siguiente estimación de la oportunidad de la formalización: "La formalización no es deseable sino tras un periodo de crecimiento, contrastación y crítica de la teoría natural dada; dicho brevemente: sólo cuando se tiene seguro que la teoría es una buena aproximación. La formalización prematura puede ser peligrosa, porque sugiere que la teoría está realmente terminada y, además, apoyada por la matemática. Éste fue de hecho el efecto de la axiomatización de la termodinámica por Carathéodory y de la axiomatización de la mecánica de los *quanta* por Von Neumann." Cf. M. Bunge, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978, cap. 8.

8.3.7. Desde Euclides se ha pensado siempre que la mejor reconstrucción de una teoría científica es su axiomatización. la última enérgica formulación de este punto de vista se encuentra en el clásico artículo de D. Hilbert "Axiomatisches Denken", *Mathematische Annalen, 78*, 405, 1918, cuya lectura es recomendable por su claridad. Los teoremas de incompletud de K. Gödel han puesto en duda aquel punto de vista: hoy sabemos que ni la teoría de conjuntos ni la aritmética pueden agotarse mediante sistemas axiomáticos. Por eso algunos han pensado que la axiomatización no es la mejor reconstrucción y que otros sistemas no axiomatizables pueden ser reconstrucciones más fieles de las teorías científicas. Cf. G. Th. Skolem (ed.), *Mathematical Interpretation of Formal Systems*, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1955. Discutir esa opinión. Por lo que hace al trabajo de Gödel, véase K. Gödel, "Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia mathematica* y sistemas afines", en *Obras Completas*, Madrid, Alianza Editorial, 1981.

8.3.8. Formalizar una teoría factual relativamente sencilla, como la óptica de los rayos de luz, la estática, la termodinámica clásica o la teoría de los circuitos directos. Indicación: pedir una beca. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el papel de los enunciados metanomológicos (cf. sec. 6.7) en la construcción y formalización de teorías.

8.3.9. El energetismo –la concepción fenomenológica que fue muy difundida en la física entre 1890 y 1910, y en favor de la cual se pronunciaban G. Kirchhoff, W. Ostwald, P. Duhem, E. Mach y otros– sostenía que la "energía" debía tomarse como el concepto básico (primitivo) de toda teoría física, en lugar de la posición y el tiempo (que eran los preferidos por los mecanicistas). ¿Tenía esa idea algo lógicamente malo? En caso afirmativo, ¿qué? ¿Y cuál puede haber sido el

efecto de una formalización de las teorías físicas clásicas? *Problema en lugar de ése*: Elaborar e ilustrar el concepto de interpretación arbitraria esbozado en el texto.

8.3.10. Discutir la propuesta de que las primitivas de una teoría factual sean exclusivamente conceptos observables (y, por tanto, operacionalmente "definibles"), lo cual asegura para los axiomas la naturaleza de enunciados de observación. Cf. H. Simon, "Definable Terms and Primitives in Axiom Systems", en L. Henkin, P. Suppes y A. Tarski (eds.), *The Axiomatic Method*, Amsterdam, North-Holland Publishing Company, 1959. *Problema en lugar de ése*: ¿Puede estar la elección de las primitivas influida por ideas filosóficas?

8.4. REFERENCIA Y EVIDENCIA

Una teoría formal es un sistema autocontenido, en el sentido de que ni su significación ni su verdad, si las tiene, dependen de nada externo al sistema –salvo, acaso, de sus presupuestos, que son también formales. En cambio, una teoría factual se supone –al menos– que da razón, en primera aproximación, de algún aspecto de la realidad. La medida en la cual la teoría tiene éxito o fracasa en el intento de representar su objeto se examina de varios modos, entre las cuales destacan la concordancia con la observación y el experimento. Dicho de otro modo: una teoría factual *refiere* a algún sector de la realidad, y la adecuación de esta referencia (o sea, el grado de verdad de la teoría) se *contrasta* por la experiencia junto con ciertos criterios no-empíricos, como la existencia externa. Una teoría factural tiene, pues, que considerarse referencial y evidencialmente. Filosofías enteras se han fundado sobre la base de una indistinción en esos dos aspectos.

Referencialmente (semánticamente) considerada, una teoría factual apunta de modo inmediato a una imagen conceptual o a un modelo teorético que se supone a su vez referente a un sistema real. Así, un modelo ideal de un cristal es un conjunto de partículas a distancias iguales y enlazadas por un hilo elástico sin masa (cf. fig. 8.10); y un modelo grosero de la ecología de un pez comedor de algas es un ecosistema de dos componentes (presa-cazador) despreciando cualquier otro factor.

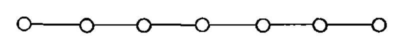


FIGURA 8.10. Modelo unidimensional de un cristal. Las líneas representan fuerzas elásticas.

Evidencialmente (metodológicamente) considerada, la misma teoría alude indirectamente a un conjunto de hechos observados (la evidencia disponible), y, de un modo mediato, a una clase más amplia de hechos observables (cf. fig. 8.11). Los correlatos mediatos o reales de una teoría no tienen por qué ser directamente observables; y no lo son nunca si la teoría es lo suficientemente profunda.

Por ejemplo, el *referente inmediato* de la dinámica de las partículas es un conjunto de puntos de masa; el punto de masa es un concepto teorético que puede, a su vez, considerarse como imagen conceptual, por ejemplo, de un planeta distante, el cual es a su vez uno del número ilimitado de *referentes mediatos* de la dinámica de las partículas. Los

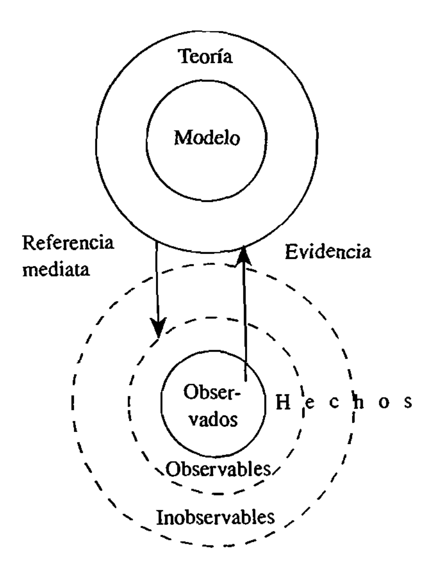


FIGURA 8.11. Relación de la teoría con la realidad y la experiencia. Los hechos experienciales (observados y observables) se incluyen en el conjunto, más amplio de los hechos. Mientras que la teoría refiere mediatamente a este amplio conjunto, sólo el subconjunto de los hechos experienciales le da apoyo evidencial. La referencia inmediata de la teoría a su propio modelo ideal no se indica en el diagrama.

informes acerca del movimiento del planeta constituyen una parte de la evidencia de la dinámica de las partículas, y todo informe de esta clase que se consiga en el futuro es experiencia posible. En este caso el referente mediato de la teoría resulta ser observable; pero una molécula, que es otro correlato posible de la dinámica de las partículas, no es observable. Por su parte, los correlatos inmediatos de la teoría atómica son átomos teoréticos, o sea, imágenes conceptuales (intuibles o no) de átomos reales, los cuales son a su vez los correlatos mediatos de la teoría. El apoyo evidencial de la teoría atómica no consta de informes acerca del comportamiento atómico –que difícilmente existirán–, sino de informes acerca de hechos molares que, según la teoría, son efecto de acontecimientos microscópicos. Análogamente, la paleontología refiere de modo inmediato a reconstrucciones hipotéticas de animales extinguidos, y esos modelos se refieren a su vez a animales extinguidos reales, pero no directamente conocidos. Y el apoyo evidencial de la paleontología no consiste en informes acerca de animales extinguidos –informes que no existen–, sino en informes acerca de sus restos (generalmente, huesos fósiles) y huellas, esos datos son los que las teorías paleontológicas intentan interpretar (explicar).

Las evidencias de una teoría son en general diferentes de las descripciones de los correlatos de la teoría. Pues los correlatos mediatos de una teoría se suponen existentes con independencia de la teoría (cosa que no vale respecto del correlato inmediato, o modelo teorético); este supuesto, desde luego, puede ser falso, como tan a menudo ocurre en las teorías de partículas "elementales"; pero el supuesto de la existencia independiente se hace siempre, aunque no sea más que por mérito de la cuestión. Por otro lado, no hay evidencia sin teoría, es decir, no puede haber o dejar de haber evidencia más que en favor o en contra de alguna teoría. La teoría misma lo determina –generalmente con la ayuda de otras teorías–, porque los informes de observación (datos) tienen que interpretarse en lenguaje teorético para poder convertirse en evidencias. Las evidencias no nacen, se hacen: sólo

una teoría puede transformar un dato en una evidencia, por ejemplo, un hueso fósil en una evidencia relevante para una teoría sobre la filogénesis humana.

He aquí una buena manera de resumir lo anterior. Las fórmulas teoréticas se leen a base de reglas de interpretación de dos clases: referenciales y evidenciales. A una teoría factual se le atribuye una *significación* (nuclear) mediante un conjunto de *reglas referenciales de interpretación* (RIR) que establecen una correspondencia entre algunos de los signos de la teoría y sus correlatos. Ahora bien, puesto que el correlato inmediato de la teoría es un modelo idealizado de una clase de correlatos concretos (el correlato mediato de la teoría, que se supone existe fuera de ella), habrá dos clases de reglas referenciales de interpretación: (*i*) las reglas del tipo I establecerán correspondencias entre conceptos y rasgos no-formales del modelo de la teoría (rasgos que siguen siendo conceptos y no cosas o propiedades reales); (*ii*) la; reglas del tipo II establecerán correspondencias entre rasgos del modelo teorético y rasgos del correlato supuesto real de la teoría. Por ejemplo, la mecánica contiene el concepto de sistema o marco de referencia, al que se hace corresponder un cuerpo rígido dotado de ciertas propiedades cinemáticas. Pero como en realidad no hay cuerpos rígidos, tenemos que contentarnos con cuerpos semi-rígidos a título de materializaciones (análogos físicos) del concepto de sistema de referencia.

Las reglas referenciales de interpretación, sean de la primera o de la segunda clase, son necesarias para asegurar la significación de la teoría, pero no son suficientes para garantizar su contrastabilidad. En realidad, la teoría puede perfectamente referir a acontecimientos que sea imposible observar incluso indirectamente. La contrastabilidad de una teoría se posibilita (aunque no se asegura) mediante un conjunto de *indicadores* o *reglas evidenciales de interpretación* (RIE), las cuales enlazan términos de bajo nivel de la teoría con entidades y rasgos observables (como cuerpos semi-rígidos visibles), así como con expedientes de observación y medición y correspondientes operaciones. Esas reglas evidenciales de interpretación no suelen contarse entre las fórmulas de la teoría porque no sólo dependen de ella, sino también de los medios de contrastabilidad de que se disponga. En la fig. 8.12 se representan las varias clases de reglas de interpretación.

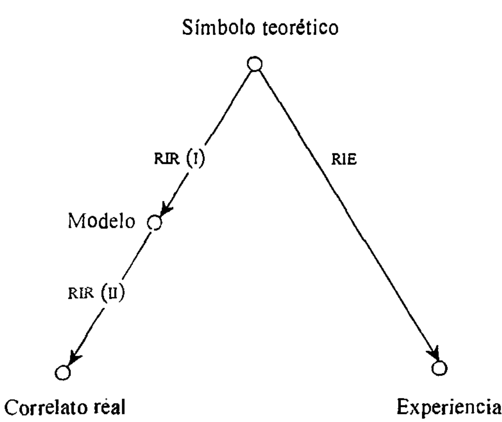


FIGURA 8.12. Reglas de interpretación RIR(I): reglas referenciales de interpretación del tipo I; ejemplo: "'*x*' designa la posición de un punto de masa". RIR(II): reglas referenciales de interpretación del tipo II; ejemplo: "El punto de masa es el modelo ideal de un planeta lejano". RIE: reglas evidenciales de interpretación; ejemplo: "Una mancha de luz no centelleante y situada en el cielo es un planeta."

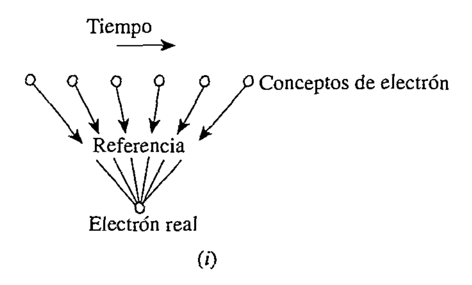
Para evitar ciertos equívocos y errores de comprensión hay que distinguir y estimar la referencia y la evidencia. De hecho, el desprecio de la referencia y la concentración de la atención sobre la evidencia puede llevar al subjetivismo a través de un empirismo estrecho; y el olvido de la naturaleza sumamente indirecta de casi toda evidencia, así como de la idealización que supone todo modelo teorético, da lugar a lo que puede llamarse el especulismo ingenuo, la idea de que las teorías son imágenes especulares de la realidad. En ambos casos se yerra el punto capital de la teorización, que es la representación conceptual y contrastable de la realidad.

Bastantes filósofos imaginan que, concentrando la atención sobre la contrastación de las teorías, pueden eludir la referencia objetiva de éstas; pero la contrastación presupone realidad objetiva que puede no estar presupuesta por la teoría misma. Efectivamente: salvo en el caso de teorías de bajo nivel, sabemos desde el primer momento que nuestras teorías tratan de idealizaciones (modelos), como personas intercomunicadas al azar, o cuerpos en movimiento libre. Sólo la contrastación y la aplicación de una teoría presuponen la existencia real del correlato de ésta. Si decimos 'El gas G satisface aproximadamente la ecuación de Van der Waals', establecemos una relación entre una entidad que es real para el experimentador (a saber, un miembro del conjunto G) y un objeto que es ideal tanto desde el punto de vista del experimentador cuanto desde el del teórico. (Es un objeto ideal, pero no enteramente *ficticio*: no es una creación arbitraria y sin objeto de la mente humana, sino el resultado de un esfuerzo imaginativo deliberado por representar un objeto real.) Si las contrastaciones empíricas no presupusieran realidad objetiva no serían empíricas: bastaría el cálculo, o hasta la mera contemplación.

Análogamente, una teoría de electrones no presupone la realidad del modelo teorético implicado, sino la existencia de ciertas cosas, en gran parte desconocidas, llamadas electrones, que plantean el problema de construir teorías sobre ellos cada vez mejores. No tendría interés el construir y perfeccionar las teorías sobre los electrones si no creyéramos que hay en la naturaleza ciertas entidades de las que dan razón, groseramente al menos, esas teorías. Es claro que esa hipótesis de existencia puede ser falsa; pero esta posibilidad no elimina el supuesto y, además, la única manera de mostrar que no hay electrones consiste en refutar toda teoría concebible sobre ellos.

La hipótesis de que las teorías sobre electrones tienen un correlato del que se supone es real no implica que se haya empezado por descubrir electrones y luego se hayan desarrollado teorías sobre ellos para resumir y sistematizar la evidencia: los electrones no son objetos observados, sino inferidos. Y esto, a su vez, no implica que los electrones sean inventados en vez de descubiertos: implica que el descubrimiento del electrón ha sido un resultado del experimento y la hipótesis juntos. Lo primero descubierto fue un conjunto de hechos observables, entonces se inventó una hipótesis para explicar los hechos conocidos; luego se descubrió el hecho nuevo de que la hipótesis del electrón satisfacía alguna de las contrastaciones; y esto a su vez determinó la expansión de la hipótesis del electrón hasta conseguir una teoría capaz de unificar las piezas de conocimiento hasta entonces sueltas. Desde entonces se han propuesto varias teorías sobre los electrones, y todas ellas tienen el mismo correlato mediato (el electrón), del que dan imágenes diferentes, cada vez más afinadas y complejas (cf. fig. 8.13).

La primera teoría del electrón se construyó con la ayuda de la mecánica clásica y de



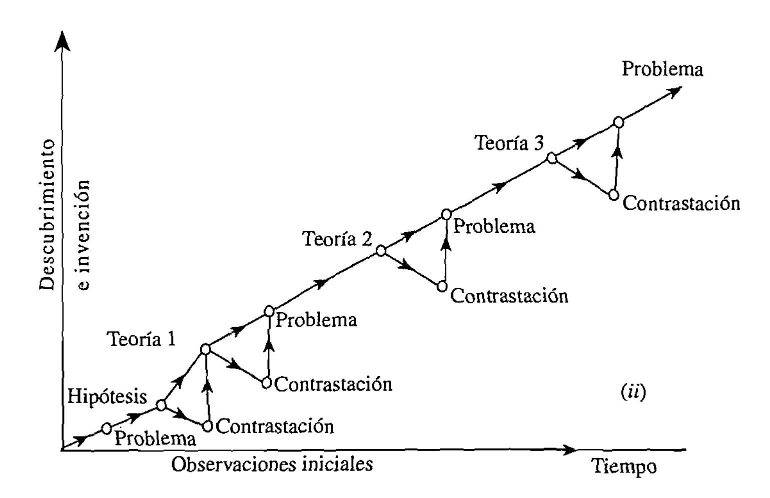


FIGURA 8.13. (*i*) Las teorías sobre electrones construyen un correlato inmediato (modelo teorético) cada una, pero todos esos modelos tienen un solo correlato real. (*ii*) Construcción y rectificación de sucesivas teorías sobre los electrones.

la teoría electromagnética clásica; aunque suponía un modelo muy rudo del electrón (la esfera débilmente cargada), dio de sí éxitos asombrosos. Al final se vio que era insatisfactoria tanto desde el punto de vista de la evidencia experimental cuanto a la luz de un marco de teoría física más amplio: por ejemplo, no explicaba correctamente la división de las líneas espectrales de la luz emitida por electrones atómicos incluidos en un campo magnético (inadecuación empírica), ni explicaba qué era lo que podía contrapesar la repulsión electrostática de las partes del electrón (inconsistencia). Al principio se rectificó la teoría clásica para superar esos defectos empíricos y teoréticos; pero con el descubrimiento (anticipado por la teoría) de las propiedades ondulatorias de las "partículas" se presentaron nuevas teorías del electrón que recogían algunos rasgos de la antigua. De acuerdo con la mayoría de esas teorías nuevas, el electrón tiene no sólo una masa y una carga y se comporta más o menos como un tren de ondas, sino que posee además una ro-

tación intrínseca no-clásica (spin). Posteriormente nuevos desarrollos teoréticos (la electrodinámica cuántica) y nuevas observaciones facilitaron la corrección de la teoría más precisa y completa de este nuevo tipo (la de Dirac). Pero hay indicios de que tampoco estas últimas reformas van a ser de efectos duraderos –e incluso que no habrá ninguna reforma definitiva.

Tres rasgos de ese proceso deben llamarnos la atención. Primero: la misma observación plantea el problema de construir teorías, y somete a éstas a contrastación, pero las teorías no se "abstraen" ni "infieren" de informes de observación, ya por el mero hecho de que éstos, las evidencias, pueden no referirse a las mismas cosas a que refieren las teorías, del mismo modo que una mirada puede sugerir el amor sin serlo. Segundo: no hay razón para suponer que el proceso de adaptación de la teoría a los hechos se consumará nunca –a menos, desde luego, que la humanidad deje de pensar. Toda teoría de cualquier objeto concreto dado *omite* algunas de sus características y *añade* ideas que no tienen contrapartida objetiva. En cualquier caso, jamás hay una correspondencia biunívoca entre los componentes de una teoría y las partes y aspectos del correlato mediato de la teoría: la correspondencia entre la teoría y el hecho es *global*, no puntual; la teoría en su conjunto correspónde, de un modo más o menos imperfecto, al objeto en su conjunto, y, además, el conjunto de hechos al que refiere la teoría puede no tener nada en común con el conjunto de fenómenos que sirven para contrastarla empíricamente. (El conjunto de todos los fenómenos no es más que un subconjunto propio de la clase de todos los hechos, pero el conjunto de los hechos experienciables relevantes para una teoría dada puede no ser un subconjunto de la clase de los hechos a que se refiere la teoría.) Tercero: generalmente la nueva teoría no suprime enteramente las teorías posteriores, sino que conserva algunos de sus componentes –conceptos o incluso hipótesis enteras– en forma más o menos modificada.

Las teorías no se "infieren" a partir de los datos, pero los datos son la contrastación de las teorías a través de ciertas inferencias que muy a menudo suponen otras teorías más, tantas cuantas sean necesarias para salvar el hiato entre la referencia de la teoría y su evidencia. El problema de la contrastación empírica de una teoría factual es: Dado un conjunto de predicciones teoréticas y un conjunto de datos empíricos, inferir ("concluir") si los dos conjuntos casan o no. Echemos ahora un vistazo a este problema; su consideración detallada nos ocupará en el capítulo 15.

Las teorías –con la posible excepción de las teorías psicológicas de la observación– no tienen *contenido observacional*: tratan de un modelo ideal que frecuentemente es una representación alegórica o simbólica del referente mediato de la teoría, y pocas veces una representación literal o icónica del mismo. Consiguientemente, las teorías no pueden compararse directamente con los datos observacionales. Antes de poder comparar un conjunto de predicciones teoréticas con un informe empírico, tenemos que *hacerlos comparables* formulando ambos en un mismo lenguaje. (Esto se hizo en la sec. 8.1 a propósito de la técnica de demolición de teorías.) A primera vista hay dos modos de conseguir ese objetivo; o bien traducimos las predicciones teoréticas a un lenguaje observacional o, a la inversa, traducimos los hallazgos empíricos al lenguaje de la teoría. De hecho, las dos transformaciones se realizan a la vez: los datos empíricos en bruto se *interpretan* directamente por términos teoréticos y las predicciones teoréticas se *interpretan* por términos

semi-empíricos, de modo que unos y otras, datos y predicciones, se encuentren a un determinado nivel, a mitad de camino entre la rarificada atmósfera de las construcciones y la oprimente atmósfera de los conceptos empíricos.

Por ejemplo: al usar un péndulo (junto con la mecánica racional) para inferir la intensidad de la gravedad o para registrar ondas sísmicas, la longitud medida del péndulo se considera como un valor aproximado de la distancia entre el centro de masa del bulbo (que es un concepto teorético) y el "punto" de suspensión (otro concepto teorético). No empezamos por formular una frase de lenguaje ordinario hecha con términos fenomenológicos, para traducirla luego por una frase con términos teoréticos, sino que empezamos ya con sentencias que contienen a la vez términos teoréticos y términos empíricos, como, por ejemplo: 'El valor medido de la distancia entre el punto de suspensión y el centro de masa del bulbo es igual a 100 cm con el error del 1%. En general, los procedimientos empíricos de la ciencia, como la medición, no son nunca *puramente* empíricos, sino que van mezclados con fragmentos de teorías, factuales y formales, y por esta razón pueden ser relevantes para la teoría que se está sometiendo a contrastación. Por otro lado, un informe acerca de lo que siente o percibe el experimentador mientras ejecuta el experimento –o sea un informe estrictamente fenomenalista– será irrelevante para la teoría y, por tanto, inútil para contrastarla.

La sismología, el estudio de las perturbaciones elásticas del planeta Tierra, ofrece una bonita ilustración de la intrincación de elementos empíricos y elementos teoréticos en la práctica real de la ciencia. La hipótesis sustantiva central de la sismología es que los terremotos y las perturbaciones menores producen ondas sonoras que se propagan por el interior y por la superficie del planeta. Y la hipótesis estratégica (metodológica) central es que el análisis de esas ondas puede suministrar información acerca de la localización y la intensidad del origen de las perturbaciones. A base de esas hipótesis y con la ayuda de otras ramas de la física se construyen sismógrafos y se manejan para detectar, amplificar y registrar ondas sísmicas. Esos informes o registros (sismogramas) constituyen el principal material de observación de la sismología (cf. fig. 8.14 (*ii*)). Ahora bien: la tarea capital de la sismología no consiste en acumular sismogramas, sino en construir imáge-

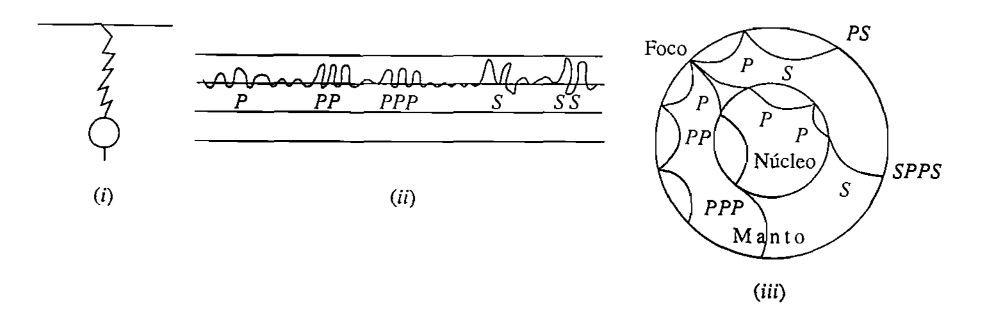


FIGURA 8.14. (*i*) La esencia de un sismógrafo mecánico: un péndulo, indicador de ondas sísmicas. (*ii*) La evidencia sismológica: un sismograma. (*iii*) Un modelo de la estructura de la Tierra y de las trayectorias de las ondas en su interior; obsérvense las reflexiones en la superficie de la Tierra y las refracciones en los límites del núcleo. Todo en las figuras está burdamente simplificado.

nes conceptuales del interior inobservado de la Tierra, sus varios niveles y vacíos, así como de las ondas que lo atraviesan. Los sismogramas son fuentes de observación y medios de contrastación de las hipótesis geofísicas, en la medida en que pueden interpretarse.

La interpretación de los registros de terremotos (la evidencia sismológica) se hace en base a (*i*) la teoría de la elasticidad, y, particularmente, del movimiento ondulatorio en medios elásticos; (*ii*) la teoría del sismógrafo (el detector, amplificador y registrador de las ondas), y (*iii*) un modelo de la estructura de la Tierra (núcleo, manto, superficie, con sus estratos respectivos), modelo que, junto con (*i*), suministra una imagen de los posibles caminos de las ondas y que se basa parcialmente en datos sismológicos. Sobre este fundamento se "leen" los sismogramas, se transforman de datos en evidencia. Así, las primeras ondas, llamadas ondas *P*, se interpretan como ondas longitudinales porque la teoría sugiere (y las mediciones de laboratorio lo confirman) que las ondas longitudinales viajan más rápidamente. El siguiente grupo de ondas se interpreta como un conjunto de ondas *P* simple y doblemente reflejadas. Un momento después llega un grupo de ondas *S*, que se interpretan como ondas transversales porque la teoría no "permite" que éstas lleguen sino después de las ondas más rápidas, *P*. Y así sucesivamente (cf. fig. 8.14 (*ii*) y (*iii*)). Es, desde luego, posible –en el laboratorio más que sobre el terreno– someter independientemente a prueba los resultados teoréticos según los cuales en un medio elástico una perturbación viajará como onda longitudinal o como onda transversal, y la primera es más rápida que la segunda. También puede someterse a contrastación la hipótesis de que el intervalo *S-P* es un índice de la distancia del epicentro a la estación registradora. En conclusión: para poder "leer" un sismograma de modo que pueda convertirse en un conjunto de datos relativos a un acontecimiento (por ejemplo, a un terremoto) o en una evidencia relevante para una teoría (por ejemplo, acerca de la estructura interna de nuestro planeta), el sismólogo utiliza la teoría de la elasticidad y todas las teorías que intervengan en el trazado y la interpretación del sismógrafo y el sismograma. El físico nuclear, el químico y el fisiólogo, etc., proceden del mismo modo.

Pasemos, pues, a conclusiones generales: (*i*) los datos utilizados para contrastar teorías no se *recogen*, sino que se *producen* con la ayuda de la misma teoría y/o de otras; (*ii*) las teorías, supuestas en la interpretación de los hechos observados como evidencia reconstruyen (hipotéticamente) la *entera cadena* que está entre el hecho-referencia y el hecho-evidencia, entre el resfriado y el estornudo, entre la amistad y el apretón de manos. Compárese esa situación con la corriente explicación de la contrastación de teorías como una comparación de datos en bruto (sin interpretar) con predicciones teoréticas. Esa explicación presupone falsamente que los datos se buscan y recogen por la experiencia ordinaria, más o menos como las setas: que la experiencia se lee (conceptualiza) directamente sin la ayuda de la teoría. Pero en la ciencia no hay experiencias neutrales: toda evidencia se produce a la luz de alguna teoría (generalmente, a la luz de un conjunto de fragmentos de teorías) y es relevante para alguna teoría.

En el mejor de los casos, un dato puede ser neutral respecto de la Teoría *T* 1 que se esté sometiendo a contrastación; pero entonces estará relacionado de un modo u otro con una segunda teoría *T*2 usada para planear la observación, diseñar los instrumentos o interpretar los resultados, de la observación. *T*2, que en otros contextos será una teoría sustantiva, tiene aquí un papel instrumental (cf. fig. 8.15). Por ejemplo: la huella visible

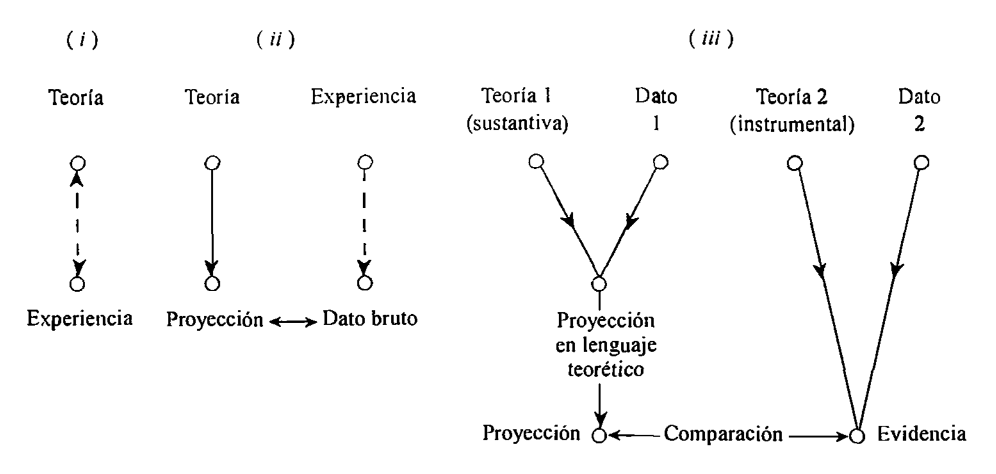


FIGURA 8.15. Proposiciones empíricas y proposiciones teoréticas. (*i*) La *visión ingenua*: la teoría se infiere de los datos y suministra datos. (*ii*) La *visión académica*: la experiencia suministra datos en bruto que se comparan con proyecciones teoréticas. (*iii*) El *procedimiento real*: la evidencia no se recoge imparcialmente, sino que se produce con la ayuda de la teoría, y las proyecciones teoréticas se traducen a un lenguaje semiempírico.

de una partícula ionizadora en una placa fotográfica será una evidencia relevante para la teoría *T*1, referente al comportamiento (por ejemplo, el modo de destrucción) de las partículas ionizadoras de una clase dada, a condición de que otra teoría diferente, *T*2, explique la huella mediante propios supuestos acerca del paso de partículas ionizadoras por la materia. Y un documento referente al trabajo de los esclavos en la Antigüedad se hace una evidencia relevante para una teoría *T*1 relativa a las relaciones sociales en la sociedad antigua si el documento puede interpretarse con la ayuda de alguna teoría económica *T*2 referente a la función del trabajo de los esclavos en la sociedad antigua. (Dicho sea de paso: la enorme importancia de la interpretación ya para la mera selección del material histórico ha inducido a algunos historiadores al error de creer que la historia no puede ser objetiva, mientras que lo único correctamente inferible de esa circunstancia es que la historia, a diferencia de la crónica, no puede escribirse sin contar con ideas acerca del mecanismo de la acción humana.) La selección e interpretación de informes empíricos por medio de teorías es tan "natural" en algunos casos –especialmente en las ciencias del hombre– que fácilmente la pasamos por alto y creemos hacer una directa "lectura de hechos". La intervención de la teoría es muy manifiesta cuando los hechos estudiados son inaccesibles a la experiencia –como ocurre en los casos de los hechos atómicos e históricos–, pero en realidad no falta nunca. Un dato ajeno a toda teoría no puede ser relevante para ninguna.

En cualquier caso: supongamos que nuestra teoría factual se ha comparado con un conjunto de datos empíricos. Tanto si por el momento la teoría concuerda con los datos

como si ya se registran desacuerdos, es inevitable que más pronto o más tarde se produzca evidencia desfavorable. ¿Qué conducta dicta esa circunstancia? ¿Habrá que rechazar pura y simplemente la teoría? No se rechazará si no se cuenta con otra más verdadera que haya previsto la nueva evidencia. Si no se tiene tal teoría más verdadera, el primer intento tenderá a recomponer la teoría, a salvarla mediante la introducción de adecuadas hipótesis *ad hoc*. Vimos en la sección 5.8 que las hipótesis *ad hoc* no tienen nada de malo mientras sean en principio contrastables; aún más: a veces una hipótesis *ad hoc*, lejos de ser un mero expediente temporal para aplacar la realidad, ha resultado ser el germen de una nueva teoría más rica. Tenemos una dramática, espectacular ilustración de esta clase de acontecimientos: la hipótesis del *quantum* (Planck), inicialmente pensada para superar la contradicción que había aparecido entre la física clásica y ciertos datos empíricos referentes al espectro de radiación en una cavidad vacía. Planck supuso que los osciladores causantes de la emisión y absorción de aquella radiación tendrían energías restringidas estrictamente a un número entero, medida de una cantidad básica de energía. (Fórmula del cuerpo negro, Planck.) Muchos críticos protestaron contra aquel *tour de force*, porque la cuantización de la energía era incoherente con la física clásica. La particularidad de la táctica seguida por Planck consistía en que no alteraba ningún postulado de las teorías físicas, pero corregía uno de sus teoremas. Si hubiera cambiado alguno de los postulados habría conseguido una nueva teoría unificada; con su procedimiento, en cambio, consiguió una teoría que era internamente inconsistente, pero, en cambio, estaba empíricamente confirmada. Otros físicos, descontentos por esa inconsistencia lógica, inventaron nuevas teorías que recogían la hipótesis de Planck sobre la cuantización de la energía ya en la base axiomática (la inicial teoría cuántica de Bohr), ya en algunos de los teoremas derivados de nuevos axiomas (las posteriores teorías de los *quanta*). En cualquier caso, la hipótesis *ad hoc* de Planck resultó verdadera y fecunda, rebasando con mucho las previsiones de su autor: y al quedar recogida en las nuevas teorías dejó de ser una hipótesis *ad hoc*.

En general, cuando una teoría falla, el primer intento que se hace consiste en practicar en ella pequeñas modificaciones, reajustando algunos de sus supuestos iniciales o añadiendo algunas hipótesis *ad hoc*, consistentes o no con las hipótesis anteriores. Sólo si también esas modificaciones son insuficientes para recoger toda la evidencia disponible, o si son incompatibles con el amor del científico por la consistencia, la unidad y belleza de la teoría, sólo en esos casos se intenta resolver la situación mediante teorías nuevas, hasta que alguna de ellas da en el blanco. Si además de resolver los problemas que la anterior teoría permitió plantear, pero no resolvió correctamente, la nueva teoría tiene un alcance más profundo que la anterior y produce repercusiones en teorías adyacentes, decimos que su introducción equivale a una revolución científica. Pero la profundidad de las teorías merece un estudio propio.

Problemas

8.4.1. A menudo se describen las teorías como si fueran meras *sistematizaciones de datos*. ¿Cómo es, entonces, que no se considera teorías a los catálogos, las tablas, los diagramas y las clasifica-

ciones sistemáticas? *Problema en lugar de ése*: Discutir el siguiente fragmento de *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872, de E. Mach, en la traducción inglesa de 1911, Chicago, Open Court, p. 57: "En la investigación de la naturaleza nos ocupamos siempre y exclusivamente de hallar las reglas mejores y más simples para la derivación de los fenómenos unos de otros [...] Podría creerse que mediante la teoría molecular fuera posible descubrir leyes de los fenómenos que no pueden percibirse en los fenómenos mismos. Pero no es ése el caso. En una teoría completa tienen que corresponder a todos los detalles del fenómeno detalles de la hipótesis, y todas las leyes sobre esas cosas hipotéticas tienen que ser directamente traducibles a los fenómenos. Pero las moléculas son entonces una mera metáfora sin valor." Sobre el punto de vista contrario, según el cual el objetivo del teorizar es la construcción de una imagen conceptual del mundo externo, cf. L. Boltzmann, *Populäre Schriften*, Leipzig, Barth, 1905, caps. 5 y 12.

8.4.2. Comentar la siguiente afirmación de E. Nagel, *Principles of the Theory of Probability*, en *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1939, § 6, p. 416: Las teorías "funcionan primariamente como medios para realizar transiciones desde un conjunto de enunciados a otros conjuntos, con el intento de controlar los cambios naturales y de suministrar predicciones susceptibles de comprobación mediante la manipulación de objetos directamente experienciables. Según eso, las teorías, en su uso efectivo en la ciencia, sirven como *instrumentos* en contextos específicos, y según esa función tienen que caracterizarse como buenas o malas, eficaces o ineficaces, y no como verdaderas, falsas o probables." Si las teorías no fueran más que instrumentos convenientes o sistemas de computación, ¿sería posible explicar por qué algunas de ellas son útiles y otras no lo son? ¿Y contendrían reglas de interpretación sin alcance operacional? Por ejemplo: ¿haría referencia la mecánica a puntos de masa, o más bien a operaciones con palancas y muelles?

8.4.3. La teoría de la decisión nos permite calcular el riesgo que conlleva la *aceptación de una hipótesis falsa* (o el rechazar una hipótesis verdadera). ¿Encaja la teoría de la decisión en la filosofía instrumentalista de la ciencia, que considera las hipótesis y las teorías aceptables (o inaceptables) y no verdaderas (o falsas)? *Problema en lugar de ése*: Explicitar la distinción entre el papel sustantivo y el papel instrumental desempeñado por las teorías.

8.4.4. H. Reichenbach y otros filósofos han sostenido que un científico que está intentando probar algo de algo (por ejemplo, de los canguros) no necesita suponer la existencia objetiva de esos objetos. Discutir la tesis. *Problema en lugar de ése*: Examinar la clase de evidencia relevante para cualquier teoría atómica.

8.4.5. Tomar cualquier teoría y explicitar sus reglas de interpretación. *Problema en lugar de ése*: Decidir si las "reglas de interpretación" son reglas o más bien hipótesis. Cf. M. Bunge, *Sense and Reference*, Dordrecht, Reidel, 1974.

8.4.6. Comentar la tesis de que el sistema heliostático de Copérnico y las varias teorías geostáticas de Ptolomeo eran equivalentes, o, simplemente, "dos modos de hablar". Cf. por ejemplo, J. Petzold, *Das Weltproblem von positivistischen Standpunkte aus*, Leipzig, Teubner, 1906, p. 37, y H. Reichenbach, *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley y Los Ángeles, University of California Press, p. 107.

8.4.7. Examinar las siguientes opiniones sobre el alcance ontológico de las teorías científicas. (*i*) *Fenomenismo*: las teorías son sumarios o, a lo sumo, idealizaciones, de la experiencia. (*ii*) *Instrumentalismo* (convencionalismo y pragmatismo); las teorías son expedientes de previsión, por tanto, instrumentos para la acción. (*iii*) *Realismo ingenuo*: las teorías son representaciones directas de la realidad. (*iv*) *Realismo crítico*: las teorías son representaciones simbólicas y parciales de sistemas de rasgos de partes de la realidad. Cf. E. Nagel, *The Structure of Science*, Nueva York, Harcourt, Brace and World, 1961, cap. 6, y K. R. Popper, *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963, cap. 3.

8.4.8. El astrofísico y filósofo A. S. Eddington sostuvo que podía derivar datos empíricos con la sola ayuda de principios generales. ¿Es eso lógicamente posible, o sea, es posible deducir singulares a partir de lo general exclusivamente? Si no lo es, ¿qué suerte final tiene el *apriorismo* en la ciencia factual? ¿Y qué enseña eso sobre la relevancia de la lógica para la filosofía de la ciencia?

8.4.9. Analizar la argumentación de H. Poincaré en *La Science et l'Hypothèse*, en favor del *convencionalismo*. Hela aquí en sustancia: (*i*) Las teorías físicas son formulables matemáticamente. (*ii*) Los axiomas de toda teoría matemática se establecen por estipulación, y toda elección entre ellos es mero asunto de comodidad. (*iii*) Por tanto, los axiomas de toda teoría física pueden ser convenientes, pero no más verdaderos respecto de los hechos que los de cualquier otra teoría matemática. Recordar lo dicho en la sección 7.4.

8.4.10. Los restos fósiles de especies nuevas –por ejemplo, de grupos de transición– aparecen repentinamente, sin gradaciones. Esas discontinuidades en el registro de los fósiles se han considerado a veces como una evidencia contra el darwinismo y en favor de otras teorías, como la de la macroevolución. Examinar cómo los darwinistas explican la escasez o incluso la falta total de evidencia en favor de ciertos hechos a los que *refiere* la teoría. ¿Es coherente esa explicación con la idea de que las teorías son meras acumulaciones condensadas de datos? *Problema en lugar de ése*: Estudiar la siguiente *paradoja de la evidencia empírica*. Lo que da a una teoría alguna justificación empírica es un conjunto de datos. Pero los datos son evidencias en favor de una teoría exclusivamente en el caso de que puedan insertarse en ella de algún modo, o sea, si son en alguna medida aceptables para la teoría. Así, por ejemplo, la aceleración de una partícula en el vacío es evidencia en favor de las teorías del campo, pero es irrelevante para otras teorías. Así, pues, la confirmación empírica parece circular. ¿Lo es efectivamente? En caso de que lo sea, ¿podemos saltar fuera de ese círculo?

8.5. PROFUNDIDAD

Las teorías ondulatorias de la luz son más profundas que la óptica del rayo rectilíneo y las teorías del comportamiento que se basan en la noción de reflejo son más profundas que las basadas en la noción estímulo-respuesta. Pues la teoría del rayo rectilíneo no estudia la naturaleza del rayo de luz ni se pregunta por el mecanismo de la reflexión y la refracción de la luz, mientras que las teorías ondulatorias explican, entre otras cosas, cómo se forman los rayos de luz (a saber, por interferencia de ondas). Y consiguen eso mediante la hipótesis de un "mecanismo" de propagación e interferencia, descrito con la ayuda de construcciones de nivel alto, como "amplitud", "longitud de onda" y "fase". Análogamente, las teorías del comportamiento basadas en la idea de reflejo intentan explicar precisamente las asociaciones que la teoría puramente conductista se contenta con registrar. Y lo consiguen introduciendo conceptos no-observacionales (construcciones hipotéticas) como "arco reflejo", "excitación" e "inhibición".

Las teorías científicas de cualquier campo pueden ordenarse respecto de la profundidad. Por ejemplo, podemos construir las siguientes ordenaciones en serie interpretando '>' como la relación "más profunda que":

Óptica cuántica > óptica electromagnética > óptica ondulatoria > óptica del rayo luminoso.

Mecánica cuántica relativista > mecánica cuántica no relativista > dinámica clásica > cinemática clásica.
Mecánica estadística sin equilibrio > mecánica estadística del equilibrio > termodinámica clásica > teoría elemental del calor.
Teoría de los mecanismos de reacción > cinética química clásica.
Teoría sintética de la evolución > teoría de la evolución según Darwin > teorías evolucionistas pre-darwinistas.

La profundidad de una teoría depende de la profundidad de los *problemas* que intenta resolver: cuanto más profundos son los problemas que consigue resolver, tanto más profunda es la teoría. Tomemos, por ejemplo, el problema de la migración de las aves. Podemos preguntarnos cuáles son realmente las rutas de migración de las varias especies, o bien, dando un paso más, preguntarnos cómo eligen las aves la dirección correcta para alcanzar su meta y cómo conservan la dirección durante el vuelo. La primera cuestión requiere una descripción empírica, pero la última exige una teoría, y una teoría profunda, que estudie el posible "mecanismo" de elección y mantenimiento de la dirección de vuelo. Se han propuesto una serie de "mecanismos", como la guía mediante el campo magnético de la tierra, o por la luz solar. Todas esas teorías de la navegación de las aves, sean verdaderas o falsas, son teorías profundas que rebasan las apariencias y analizan la acción de ciertos estímulos físicos en los órganos de los sentidos de las aves: no se limitan a describir ciertos esquemas de comportamiento (por ejemplo, la formación del hábito migratorio), sino que intentan descubrir su "mecanismo". Teorías aún más profundas se necesitan en este campo, teorías que tomen en cuenta la componente innata de la orientación de las aves y la expliquen al nivel de la biología celular (codificación de la información genética).

Las teorías más profundas son las más *específicas* y, por tanto, las más informativas. Como consecuencia de esa mayor determinación o compromiso, son también las mejor contrastables; y, por ser mejor contrastables, son más aptas para adquirir y para perder una buena fundamentación empírica: o sea, el conjunto de los datos relevantes para ellas es más vario y, por tanto, aumenta la probabilidad de que surja evidencia desfavorable. Piénsese en la teoría electromagnética clásica para la explicación de la acción a corta distancia (teoría de Faraday-Maxwell); entre otras cosas, esa teoría predecía la existencia de ondas electromagnéticas –hazaña que rebasaba la capacidad de las teorías de la acción a distancia, las cuales se desentendían de las relaciones entre puntos próximos en un continuo, única cosa que puede dar origen a una ondulación viajera. O piénsese en la teoría darwinista de la evolución, que no se limitó a afirmar que las especies evolucionaban –hipótesis sostenida por varias personas antes de Darwin–, sino que propuso un mecanismo determinado (variación espontánea más selección natural) cuya existencia podía someterse a contrastación, por ejemplo, mediante la selección artificial. A su vez, la teoría contemporánea de la evolución, o teoría sintética, es más profunda que la de Darwin porque explica las variaciones basándose en la genética –como resultado de mutaciones genéticas y cromosómicas–, mientras que Darwin tomaba las variaciones como datos. También la teoría de Lamarck, o teoría del medio ambiente, contenía mecanismos supuestamente responsables de la evolución, como atrofia de los órganos en desuso, la

herencia de los caracteres adquiridos y la tendencia intrínseca al perfeccionamiento. Pero esas hipótesis no consiguen explicar cómo se imprimirían los cambios del organismo individual durante su vida en las células reproductoras del mismo, de tal modo que éstas pudieran trasmitir la información a la descendencia. Por eso, y completamente aparte de la verdad o hasta de la contrastabilidad de la teoría de Lamarck, la de Darwin era más profunda.

La profundidad de las teorías puede caracterizarse por la posesión de tres atributos: la presencia de *construcciones de nivel alto*, la presencia de un "*mecanismo*" y una *intensa capacidad de explicación*. Las tres propiedades están íntimamente vinculadas: sólo introduciendo conceptos de alto nivel (trasempíricos) pueden formularse hipótesis sobre "mecanismos" inobservables, y sólo lo que por hipótesis ocurre en las profundidades puede explicar lo que se observa en la superficie. Formulamos esta idea en la siguiente *Definición*: Una teoría $T1$ es *más profunda* que una teoría $T2$ si y sólo si (*i*) $T1$ contiene construcciones de nivel más alto (inobservables) que $T2$ (aspecto epistemológico); (*ii*) esas construcciones se presentan en "mecanismos" hipotéticos subyacentes a los hechos a que refiere $T2$ (aspecto ontológico); y (*iii*) $T1$ explica lógicamente $T2$, o sea, $T1 \vdash T2$ (aspecto lógico).

Como las teorías menos profundas son las más próximas a los fenómenos, se llaman a menudo *fenomenológicas*. En cambio, las teorías que sientan la hipótesis de "mecanismos" determinados, observables o no, pueden llamarse *representacionales*. Si tales mecanismos son mecánicos en sentido estricto, entonces la teoría será *mecanicista*. Si invocan mecanismos no mecánicos, se las podrá llamar mecanísmicas. Pero todo eso son meros extremos: entre ellos se encuentra toda una serie de teorías *semi*fenomenológicas y *semi*rrepresentacionales.

El adjetivo 'fenomenológico' conduce a error en este contexto porque acarrea la idea de que las teorías menos profundas son estrictamente descriptivas de los fenómenos y no tienen capacidad explicativa. Pero ninguna teoría propiamente dicha es puramente descriptiva: si carece de proposiciones a partir de las cuales puedan deducirse proposiciones descriptivas no es una teoría; y las proposiciones fuertes a partir de las cuales se derivan las descripciones no tienen en general los mismos referentes que estas últimas: mientras que las primeras pueden referir a hechos inobservados, las últimas refieren a hechos observados, por lo que la derivación puede requerir la ayuda de teorías adicionales (cf. sec. 8.4). Las teorías fenomenológicas no satisfacen, pues, la exigencia de la filosofía fenomenista, según la cual hay que evitar los conceptos trasempíricos porque carecen de significación. Y las teorías fenomenológicas están incluso más lejos de satisfacer el requisito de empleo exclusivo de los datos sensibles: hasta las teorías psicológicas, si son científicas, se construyen con elementos objetivos, y no con lo que aparece al sujeto (los "fenómenos" de los filósofos); pueden referir a elementos subjetivos –si son teorías psicológicas–, pero sólo en la medida en que éstos son objetivables para el investigador, el cual intentará explicarlos de un modo no fenomenista. Por esa y otras razones, el nombre de *teoría de caja negra* parece preferible al de 'teoría fenomenológica'.

Una teoría del tipo "caja negra" trata su objeto o tema como si fuera un sistema desprovisto de estructura interna: atiende al comportamiento del sistema y lo trata como una unidad simple (cf. sec. 5.4). Una teoría del tipo de la caja negra da razón del comporta-

miento general basándose en relaciones entre variables globales, como causas netas (*inputs*) y efectos netos (*outputs*); unas y otros quedan mediados por variables

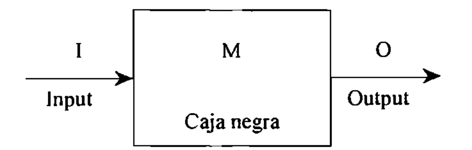


FIGURA 8.16. Un teoría del tipo de la caja negra considera su correlato como un bloque desprovisto de estructura. Su comportamiento general se explica mediante variables periféricas I y O, vinculadas posiblemente por variables auxiliares.

intervinientes que carecen de referente (cf. fig. 8.16).

La caja negra se parece al informe anual que el presidente de una sociedad expone a los accionistas: las teorías de este tipo y el informe hablan de ingresos y gastos, de ganancias netas y pérdidas netas, y hasta de tendencias generales; pero no explican los *procesos* en acto (en la compañía o en la caja).

Una teoría de este tipo de la caja negra puede esquematizarse estructuralmente por la siguiente ecuación que relaciona el *input* o factor I con el *output* o producto O:

$$O = MI \qquad [8.12]$$

en la que M (variable, operador o función) *media* o *interviene* entre las variables externas I y O; si resulta ser una función, M proyectará el conjunto de los valores de factores sobre el de los valores producto, o sea, $M : I \rightarrow 0$. El símbolo mediador 'M' resume las propiedades de la caja, pero en las teorías de este tipo M no se deriva basándose en esas propiedades: M es un vínculo puramente sintáctico entre una columna de valores de I y una columna de valores de O (o entre varias columnas, si I y O son conjuntos de variables). Sólo en el contexto de teorías representacionales, puede convertirse M en un símbolo complejo o variable derivativa referente a la constitución y estructura de la caja, o sea, llegar a representar el "*mecanismo*" que media entre el *input* y el *output*. Dicho de otro modo: M es una variable sin interpretar en la teoría del tipo de la caja negra, y se convierte en una variable interpretada (una construcción hipotética) en la correspondiente teoría traslúcida (representacional) que pueda absorber a la primera. No hará falta decir que M no representa necesariamente un mecanismo en sentido estricto, o sea, *mecánico*, ni tampoco un mecanismo *intuitivamente representable*. Y aunque M no tenga significación empírica u operacional (pues no representa ninguna propiedad manipulable), la teoría traslúcida le asignará un referente, a saber, un conjunto de variables internas que caractericen el interior de la caja. Dicho brevemente: mientras que en teorías del tipo de la caja negra el símbolo mediador M carece efectivamente de significación, en teorías que llamaremos del tipo de la caja traslúcida adquiere significación factual (aunque no operacional). (Cf. fig. 8.17.) El estatuto de una variable dada como variable interviniente o como construcción hipotética es por tanto relativo a la teoría en que se presente.

Una relación *input-output* no nos compromete a aceptar ningún mecanismo específico, pero sí que plantea el problema de formular hipotéticamente los posibles mecanismos que den razón de ella. (Si alguien se niega a explicitar un tal problema puede hacerlo

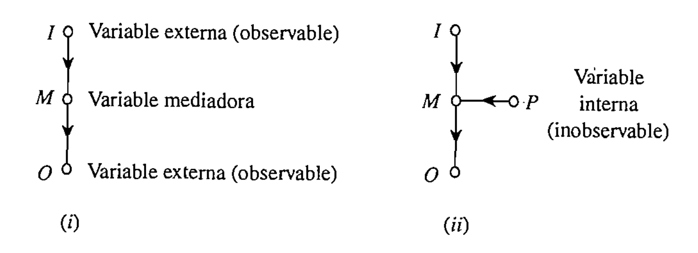


FIGURA 8.17. Los papeles de los símbolos mediadores, *M*, en (*i*) teorías del tipo de la caja negra, y (*ii*) teorías del tipo de la caja traslúcida. En (*i*) *M* es un vínculo sintáctico entre observables; en (*ii*) *M* deriva de variables internas *P*.

tranquilamente; pero no debe desanimar a otros en nombre de alguna tesis filosófica.) Tomemos el caso general dibujado en la figura 8.18, en el cual el producto general aumenta con los factores excepto en ciertos intervalos en los que parte del *input* queda absorbida por el sistema (átomo, persona, economía o lo que sea). Podemos decidir detenernos en este punto, o bien tomarlo como arranque de un nuevo ciclo de investigación, preguntándonos por el mecanismo de absorción: nuestra decisión dependerá íntimamente de lo dispuestos que estemos a trabajar y de nuestra visión filosófica general. Si no somos conductistas, procederemos a analizar el sistema (conceptual o empíricamente) en componentes menores, y nos preguntaremos por sus relaciones recíprocas: de este modo empezarán a surgir por debajo de la superficie posibles mecanismos. Un conocido caso de este tipo fue la explicación del experimento de Franck y Hertz sobre el bombardeo de un gas por un haz de partículas subatómicas: los mínimos de absorción registrados por los experimentadores se explicaron por la teoría atómica de Bohr como transferencias de energía de las partículas a los átomos del gas. Otro ejemplo de este tipo de análisis de los datos globales es el análisis *insumo-producto* de la economía de un país (W. Leontieff), en el cual se estudian las transacciones entre los diferentes sectores de la economía. En ambos casos se lleva a cabo un análisis de una caja negra en un sistema de cajas negras más pequeñas, y el análisis se acepta como parcialmente verdadero no por el mero hecho

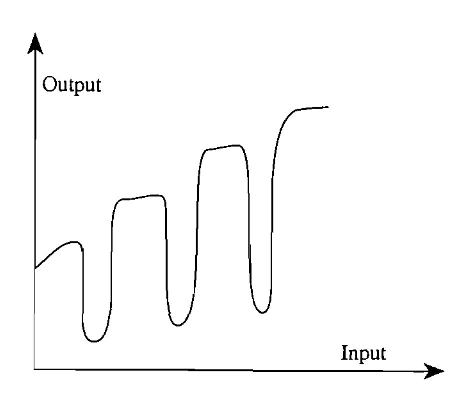


FIGURA 8.18. Una curva *input-output* que reclama una explicación de los mínimos de absorción.

de ser coherente con la relación general *input-output*, sino con la condición de que lo sea además con algunas de las leyes relevantes conocidas, y de que pueda predecir efectos imprevisibles de otro modo.

Las teorías del tipo de la caja negra dominan en el estadio de la construcción de teorías que puede calificarse de distribución de datos, o sea, el periodo en el cual se trata de *sistematizar* los datos más que de *interpretarlos*. Para completar el cuadro habrá que interpretar el símbolo mediador *M* como "mecanismo", lo que obligará a su vez a introducir conceptos e hipótesis acerca de lo no observado, esto es, acerca del interior de la caja. Tomemos, por ejemplo, la ósmosis, proceso tan importante y manifiesto en la materia viva. El efecto neto de la ósmosis es el paso de líquido (agua, por ejemplo) a través de una membrana hacia una región de concentración más alta. Este efecto neto puede recogerse en una teoría del tipo caja negra sin más conceptos que los de concentración, presión y temperatura. Una teoría más profunda añadirá a esos conceptos un modelo de la difusión (proceso inobservable) de moléculas (entidades inobservables) a través de los poros (inobservables) de la membrana, y también posiblemente, un modelo de las reacciones químicas (inobservables) que ocurren a veces en la superficie de contacto. Una tal teoría más profunda es necesaria para explicar la ósmosis selectiva que tiene lugar a través de membranas vivas, proceso que hay que llegar a entender si se quiere mejorar la salud humana.

La mayor profundidad de las teorías mecanísmicas explica por qué, con pocas excepciones, la tendencia general en la historia de la ciencia lleva a añadir a las cajas negras cajas traslúcidas. Esa suplementación de teorías superficiales por teorías profundas es gradual: eso que hemos llamado 'caja traslúcida' no es más que un manojo de cajas negras más pequeñas que hay que analizar a su vez sobre la base de cajas negras aún menores. Es discutible la cuestión de si ese proceso tiene un límite, un límite puesto por la naturaleza de las cosas (átomos materiales inanalizables). Actualmente parecen igualmente sostenibles ambas hipótesis, la que postula la existencia de átomos últimos (no analizables ulteriormente) y la que sostiene la complejidad ilimitada. Las diferencias entre ambas hipótesis son hoy por hoy de naturaleza puramente pragmática: la hipótesis de la complejidad ilimitada es a la vez menos intuitiva y más fecunda que la hipótesis de la atomicidad última: la primera mueve a buscar complejidad en los lugares en que no se ve, y engendra así problemas fecundos.

Pese a la mayor riqueza de las teorías mecanísmicas, ha habido y sigue habiendo tenaces partidarios de las teorías fenomenológicas. Eso no se debe sólo a una determinada tendencia filosófica, que mueve a aferrarse a los datos empíricos y a desconfiar de la teoría. Las cajas negras tienen espaciales virtudes que explican por qué no se las *sustituye* por teorías del tipo de la caja traslúcida, sino que sólo se las *suplementa* con ellas. Las cajas negras tienen entre otras las siguientes propiedades:

Son:

1. *Muy generales*, en el sentido de que son coherentes con un número ilimitado de mecanismos específicos, y aplicables a sistemas de diferentes clases (recuérdese la teoría de la información);

2. *Globales* u holísticas: no prestan atención a detalles o interioridades, sino que atienden a los rasgos y tendencias generales (recuérdese la termodinámica);

3. *Epistemológicamente sencillas*, o sea, económicas en cuanto al uso de conceptos trascendentes o no-observacionales (recuérdense las teorías psicológicas *E-R*);
4. *Precisas*, pues ajustando y reajustando los valores de los parámetros (no todos los cuales tienen como referentes propiedades determinadas) pueden cubrir más datos que las teorías representacionales, cuyos parámetros no pueden reajustarse arbitrariamente porque se supone que representan propiedades objetivas (recordar las teorías cinéticas de la física nuclear);
5. *Seguras*: al no afirmar nada acerca de mecanismos, corren menos riesgos (recordar la teoría del circuito eléctrico).

Esas ventajas explican por qué seguimos utilizando, siempre que es posible, la óptica del rayo luminoso junto con la óptica ondulatoria, la termodinámica clásica junto con la mecánica estadística, etc., especialmente en la ciencia aplicada. Pero desde otro punto de vista esas ventajas son inconvenientes. En realidad, la generalidad en el sentido de falta de especificidad es simplemente una señal de que se ha despreciado la clase de sistema de que se trata; el carácter global, o no local, exige pagar el precio de la ignorancia sobre la estructura interna; la simplicidad en el sentido de ausencia de construcciones hipotéticas es señal de oscuridad conceptual y ontológica; y la seguridad resultante de no tomar compromisos detallados no tiene más valor que la sabiduría del taciturno. Esas propiedades explican por qué los tecnólogos sienten predilección por teorías del tipo de la caja negra; para las necesidades de la práctica, una teoría flexible, global, sencilla, reajustable y segura es preferible a una teoría más profunda, pero, por el hecho de serlo, más compleja y menos flexible. La preferencia del pragmatista por este tipo de teoría tiene la misma explicación, puesto que para el pragmatista no existe la ciencia pura, sino que toda pieza de conocimiento es meramente un instrumento para la acción.

Además de esas propiedades de dos caras, las teorías del tipo de la caja negra tienen las siguientes desventajas claras respecto de las teorías del tipo de la caja traslúcida:

1. *Escaso contenido*: son menos completas y precisas, que las correspondientes teorías representacionales; consiguientemente, tienen
2. *Menor contrastabilidad* –puesto que sus riesgos son escasos y prudentes–, y
3. *Escasa potencia heurística*, pues al no penetrar profundamente por debajo del nivel de las apariencias no pueden guiar la investigación en la exploración de las profundidades.

Desde el punto de vista metodológico, las teorías del tipo de la caja negra son muy estimables como *contrastadores* de las correspondientes teorías mecanísmicas (las cuales, sin embargo, pueden descubrir en las otras inexactitudes pequeñas o hasta grandes). Desde el punto de vista pragmático son estimables porque suelen ser manejables, mientras que las teorías representacionales, al ser más complejas, son también más difíciles de manejar. Pero el progreso del conocimiento consiste en gran medida en practicar agujeros en cajas negras, o sea, en trascender el planteamiento fenomenológico que generalmente (aunque no siempre) es más adecuado para el estadio preliminar de la teorización y para la tecnología. La preferencia por las cajas traslúcidas respecto de las negras en el terreno de la ciencia pura no debe implicar la recusación de las teorías de aquel primer

tipo. Lo que hay que criticar, por ser una actitud oscurantista, es el "cajanegrismo", o sea, la filosofía que exige la renuncia a las cajas traslúcidas (teorías representacionales) y nos impondría la destrucción de las secciones más adelantadas de la ciencia contemporánea. Esta filosofía goza del favor de personas de orientación práctica, las cuales conciben las teorías científicas como meros instrumentos para establecer relaciones económicas (en algún sentido) entre los datos. Este tipo de pragmatismo, interesado por las teorías científicas más como medios que como fines, es miope y autodestructor, porque cuanto más profunda es una teoría tanto más útil puede ser a la larga. Las teorías representacionales son en última instancia las más rentables, incluso prácticamente –aunque de un modo indirecto– porque ayudan a explicar *cómo funcionan las cosas*, y ese conocimiento puede ser necesario para mejorar nuestro dominio de ellas.

La anterior discusión sugiere que la construcción de teorías está siempre dominada por algún *planteamiento*. Un planteamiento puede caracterizarse como un modo amplio y no-específico de considerar un tema. Supone a la vez un punto de vista y un objetivo. (Así pues, la relación de planteamiento es de cuarto grado; w plantea x con el objetivo y según el punto de vista z.) El estudio de uno y el mismo conjunto de hechos puede plantearse de varias maneras. Así, por ejemplo, una caída espectacular de las cotizaciones bolsísticas puede plantearse por el economista con la intención de descubrir la situación de los defectos económicos del país, según el punto de vista de que los acontecimientos financieros reflejan estados económicos; el psicólogo social puede plantear el mismo acontecimiento para conseguir datos relevantes para la opinión de que las fluctuaciones de un mercado son producto de estimaciones subjetivas, difusión de rumores y contagio del pánico; y el historiador puede estar interesado en estudiar el hecho como consecuencia, por ejemplo, de una larga cadena de inversiones erradas, y como el origen de expedientes de control gubernamental. Cada uno de los tres especialistas insistirá en un aspecto particular del mismo hecho, porque cada uno de ellos tiene un blanco diferente y un punto de vista diferente. Los diversos planteamientos pueden ser coherentes unos con otros, y hasta mutuamente complementarios. Si se tienen todos en cuenta al estudiar un determinado conjunto de hechos, se adopta, según se dice, un *planteamiento interdisciplinario*. (Pero no hay una interciencia, por ejemplo, una ciencia del espacio.)

Lo mismo que hemos dicho respecto del estudio de los hechos por medio de las teorías existentes sirve para la construcción de teorías explicadoras de hechos: esta tarea se ejecuta siempre según un planteamiento más o menos definido, y el planteamiento incluye actitudes filosóficas ocultas en la selección del objetivo y en el punto de vista. Así, por ejemplo, el planteamiento de la caja negra consiste en considerar el sistema "desde fuera", sin penetrar en su interior. En este caso el objetivo puede ser obtener con poco gasto (o muy barata) una sistematización que tenga las propiedades antes mencionadas (amplia cobertura, sencillez, seguridad). Y la filosofía subyacente, si es que hay alguna explícitamente operante, puede ser el convencionalismo o un estrecho empirismo, según el cual las teorías se construyen con fragmentos de experiencia. Es una buena estrategia y una práctica honesta el formular explícitamente el objetivo y la filosofía subyacente, y el justificarlos cuando es posible. Si el tipo de planteamiento se indica explícitamente, la teoría resultante puede corregirse y perfeccionarse –entre otros procedimientos posibles– alterando el planteamiento.

La variedad de planteamientos puede explicar la frecuente variedad de teorías acerca de los mismos conjuntos de datos. Esta variedad choca con la difundida opinión de que la ciencia –a diferencia del incoherente coro de las filosofías– es monolítica. Las diferencias de opinión entre los científicos son mucho más comunes de lo que se cree corrientemente: lo que pasa es que son fecundas. Las discrepancias que se dan en la comunidad científica son una fuente de progreso: ésta es toda la diferencia entre las disputas científicas y las políticas. Son una fuente de progreso porque consisten en diferentes *ideas*, muy frecuentemente incompatibles; porque no son normalmente siervas de intereses creados; y, finalmente –pero no en último orden de importancia– porque existen medios admitidos de resolver esas disputas, al menos a la larga. Las pseudociencias pueden pretender ser monolíticas, aunque, desde luego, no en el sentido de formalmente consistentes y semánticamente unitarias; en cambio, el espíritu científico florece a base de discrepancias de ideas y entre las ideas y los datos. La uniformización de la opinión científica acerca de todo tema sería tan fatal para la investigación como la fragmentación en escuelas irreconciliables. La libre discrepancia y el acuerdo espontáneo son ambos necesarios para la búsqueda fecunda de la verdad. La discrepancia lo es porque constituye un síntoma de que el problema tratado puede no haber sido resuelto, ni siquiera provisionalmente; y el acuerdo, porque es por así decirlo la luz verde que permite ir a buscar nuevos problemas. Los nuevos problemas a que puede dar lugar una teoría (provisionalmente aceptada) son problemas de aplicación y contrastación de la teoría. Nos ocuparán en las restantes partes de este libro.

Problemas

8.5.1. Las teorías fenomenológicas (o del tipo de la caja negra), ¿contienen exclusivamente conceptos observacionales? ¿Puede mencionarse una teoría sin conceptos teoréticos? *Problema en lugar de ése*: Hacia fines del siglo pasado, la teoría elástica de la luz, con su extraño éter mecánico, se encontraba desacreditada, y su fracaso arrastró, primero, la clase entera de los modelos mecánicos, y luego todas las pretensiones de refigurar plásticamente y de un modo veraz la realidad. Esta tendencia, bien aprovechada por el convencionalismo, se acentuó con la constitución de la termodinámica como teoría fenomenológica (independiente de cualquier mecanismo), con su aplicación a la química y con el gradual abandono por Maxwell de los tubos elásticos de fuerzas eléctricas supuestos por Faraday. Con esto, la teoría cinética de la materia, los modelos atómicos de las moléculas (por ejemplo, el anillo bencénico de Kekulé) y otras teorías e hipótesis pasaron a considerarse como meras *analogías mecánicas* sin referencia factual: había que interpretarlas como metáforas, no como refiguraciones literales de la realidad; lo más que podía decirse es que las cosas ocurren *como si* hubiera átomos, pero, desde luego, era malo tomar esas ficciones por realidades. Pocos años después se probó casi concluyentemente la realidad de los átomos. Más exactamente: se consiguieron mediciones exactas previstas exclusivamente por las teorías atomísticas (como las teorías de Einstein y Smoluchowski sobre el movimiento browniano) y que eran inimaginables sobre la base de otros sistemas. Consiguientemente, se propusieron teorías cada vez más detalladas de la estructura de los átomos, luego de los núcleos y, finalmente, de las partículas componentes mismas. Inferir de esto alguna conclusión e intentar explicar por qué el "cajanegrismo", lejos de quedar derrotado por esos hechos histórico-científicos, sigue tan vivo en la microfísica contemporánea.

8.5.2. El revolucionario tratado de Copérnico *De revolutionibus orbium coelestium* (1543)

contenía un prefacio anónimo –luego atribuido a A. Osiander– que intentaba hacer que la obra resultara tolerable desde el punto de vista de las tesis dominantes en la época. En ese prefacio se exponen los puntos de vista metodológicos de Ptolomeo –que eran más convencionalistas que realistas– y se afirma que la finalidad de la astronomía es dar razón de las apariencias por medio de hipótesis cuya única función es posibilitar al astrónomo el cálculo exacto de los movimientos aparentes, no representar la realidad. Para una historia de este planteamiento fenomenológico de la astronomía cf. P. Duhem, Σωζειν τα φαινομενα, *Essai sur la notion de théorie physique*, París. Hermann, 1908, especialmente pp. 77ss., y R. M. Blake, "Theory of Hypothesis among Renaissance Astronomers", en E. Madden (ed.), *Theories of Scientific Method*, Seattle, University of Washington Press, 1960. ¿Era el punto de vista convencionalista consistente con la teoría heliostática propuesta por Copérnico? Si lo era, ¿qué interés tenía remodelar la astronomía, si en aquel tiempo los dos puntos de vista quedaban igualmente confirmados por la observación?

8.5.3. Informar acerca de alguna de las obras siguientes: (*i*) L. Boltzmann, *Populäre Schriften*, Leipzig, Barth, 1905, caps. 9 a 11; (*ii*) R. Dugas, *La théorie physique au sens de Boltzmann*, Neuchâtel, Éditions du Griffon, 1959, caps. IV-XII; (*iii*) A. D'Abro, *The Decline of Mechanism*, Nueva York, Van Nostrand, 1939, cap. XI, sobre teorías fenomenológicas; (*iv*) K. R. Popper, *The Open Society and Its Enemies*, 4a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1962, I, cap. 3, sec. *vi*, sobre la disputa entre nominalismo metodológico y esencialismo metodológico; (*v*) J. M. Blatt y V. F. Weisskopf, *Theoretical Nuclear Physics*, Nueva York, Wiley, 1952, pp. 313 y 517ss., sobre la imagen del canal aplicada a las reacciones nucleares; (*vi*) K. W. Spence, "Types of Constructs in Psychology", en M. H. Marx (ed.), *Psychological Theory*, Nueva York, Macmillan, 1951; (*vii*) E. C. Tolman, "The Intervening Variable", *ibid.*; (*viii*) K. Mac Corquodale y P. E. Meehl, "Operational Validity of Intervening Constructs", *ibid.*; (*ix*) M. H. Marx, "Hypothesis and Constructs", *ibid.*; (*x*) E. R. Hilgard, "Intervening Variables, Hypothetical Constructs, Parameters, and Constants", *American Journal of Psychology*, *71*, 238, 1958; (*xi*) W. Weaver, "The Imperfections of Science", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 104, 419, 1960; (*xii*) M. Bunge, "A General Black Box Theory", *Philosophy of Science*, *30*, 346, 1963; (*xiii*) M. Bunge, "Phenomenological Theories", en M. Bunge (ed.), *The Critical Approach*, ed. por M. Bunge en honor a Karl Popper, Nueva York, The Free Press, 1964; "Mechanism and Explanation", *Philosophy of the Social Sciences*, 27:410-465, 1997; P. Hedström y R. Swedberg (comps.), *Social Mechanisms*, Cambridge, Cambridge University Press, 1998; M. Bunge, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transactions, 1999.

8.5.4. Establecer un paralelismo entre el planteamiento de la caja negra y el manejo "formal" o "simbólico" de las entidades y las operaciones matemáticas (practicado por Euler y Heaviside). *Problema en lugar de ése*: La investigación experimental y teorética sobre la resolución de problemas se plantea corrientemente ya atendiendo a (*i*) las relaciones entre las variables del medio (las que determinan la tarea) y el rendimiento, ya atendiendo (*ii*) a los procesos internos que se supone atraviesa el sujeto, o sea, a variables internas como la inteligencia y la memoria. ¿Se excluyen esos planteamientos recíprocamente? ¿Qué es lo que más probablemente dará frutos inmediatos? ¿Y cuál es el más profundo de esos dos planteamientos, el más difícil, por tanto, pero, al mismo tiempo, el más prometedor a la larga?

8.5.5. ¿Tienen algo en común las teorías científicas fenomenológicas, el fenomenismo (la doctrina epistemológica así llamada) y la fenomenología (la doctrina de E. Husserl)? *Problema en lugar de ése*: Discutir la tesis de que cuanto más general es una teoría tanto menos profunda tiene que ser.

8.5.6. La diferencia entre variables intervinientes o mediadoras y construcciones hipotéticas, ¿es intrínseca o contextual? Examinar, por ejemplo, el papel de la aceleración de la gravedad en mecánica (aceleración constante) y en la teoría gravitatoria (intensidad del campo).

8.5.7. El infalibilismo radical implica que la ciencia avanza en el sentido de una falsabilidad decreciente. El falibilismo radical supone que la ciencia se mueve en el sentido de una falsabilidad creciente. Relacionar esto con la tensión entre puntos de vista fenomenológicos y representacionales, y establecer si, de hecho, hay una tendencia consistente en alguna de las dos direcciones.

8.5.8. Examinar la "paradoja de la teorización" y el "dilema del teórico", cuestiones discutidas por C. G. Hempel, en H. Feigl, M. Scriven y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, I, II, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1958, pp. 49-50. ¿Surgirían la "paradoja" y el "dilema" si no se empezara por suponer que el objetivo último de la teoría científica es sistematizar los fenómenos que pueden ser observados directamente? ¿Surgen la "paradoja" y el "dilema" si se parte de la base de que el objetivo último de la teorización es refigurar y entender una realidad que resulta generalmente oculta a los sentidos y no puede, por tanto, explicarse a base de conceptos observacionales exclusivamente?

8.5.9. El matemático V. Volterra propuso en 1931 el siguiente sistema axiomático para explicar la dinámica de las poblaciones en concurrencia (especialmente presas y cazadores):

$$dN_i/dt = a_i N_i + \sum_{j \neq i} b_i N_i N_j;\ i, j = 1, 2, \ldots, n; = b_{ij} = -b_{ji},$$

en el cual 'N_i' designa el tamaño de la i-ésima población y 'b_{ik}' mide la intensidad de la interacción entre las especies consideradas. ¿Es ésta una teoría fenomenológica o representacional? ¿O se sustrae acaso a esa dicotomía?

8. 5.10. Comparar los enfoques conductistas (p. ej., el de Skinner), neoconductista (p. ej., el de Hull) y neuropsicológico (p. ej., el de Hebb) del aprendizaje, como otros tantos ejemplos de caja negra, gris y traslúcida respectivamente. Cf. M. Bunge y R. Ardila, *Filosofía de la psicología*, Barcelona, Ariel, 1988.

BIBLIOGRAFÍA

Boltzmann, L., *Populäre Schriften*, Leipzig, Barth, 1905, caps. 5 y 9-12.

Braithwaite, R. B., *Scientific Explanation*, Cambridge, Cambridge University Press, 1953, caps. III y IV., trad. esp., Madrid, 1965.

Bunge, M., "Physics and reality", Dialectica, *19*, 195, 1965.

——, "The maturation of science", en I. Lakatos y A. Musgrave (eds.), *Procedings of the Intern. Colloquium in The Philosophy of Science*, Londres, 1965, vol. III, Amsterdam, North-Holland.

——, *Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1967.

——, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

——, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.

——, *Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana, 1999.

——, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transactions, 1999.

Campbell, N. R., *Foundations of Science*, título primitivo: *Physics: The Elements*, 1920, Nueva York, Dover, 1957, cap. VI.

Carnap, R., "The Methodological Character of Theoretical Concepts", en H. Feigl y M. Scriven (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, I, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1956.

D'Abro, A., *The Decline of Mechanism*, Nueva York, Van Nostrand, 1939, parte 1.

Duhem, P., *The Aim and .Structure of Physical Theory*, 1914, ed. inglesa, Atheneum, 1962, parte 1.
Einstein, A., "Physics Reality", 1936, en *Out of my Later Years*, Nueva York, Philosophical Library, 1950.
Feigl, H., "Principles and Problem of Theory Construction in Psychology", en W. Denis, *Current Trends of Psychological Theory*, Pittsburg, University of Pittsburgh Press, 1951.
Kuhn,T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962.
Mahner, M., y M. Bunge, *Foundations of Biophilosophy*, Nueva York, Springer, 1997 [*Fundamentos de la filosofía*, México, Siglo XXI, 2000].
Marx, M. H. (ed.), *Psychological Theory; Contemporary Readings*, Nueva York, Macmillan, 1951.
Maxwell, G., "The Ontological Status of Theoretical Entities", en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962.
Merton, R. K., *Social Theory and Social Structure*, 2a. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, parte I.
——, *The Sociology of Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1973.
Nagel, E., *The Structure of Science*, Nueva York, Harcourt, Brace and World, 1961, caps. 5 y 6.
Popper, K R., "Three Views Concerning Human Knowledge, en *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963.
Simon, H. A., y A. Newell, "Models: Their Use and Limitations", en D. White (ed.), *The State of the Social Sciences*, Chicago, University of Chicago Press, 1956.
Smart, J. J. C., "Theory Construction", en A. Flew (ed.), *Logic and Language*, 2a. serie, Oxford, Blackwell, 1955.
Suppe, F. (comp.), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1974.
Tornebohm, H., *A Logical Analysis of the Teory of Relativity*, Estocolmo, Almqvist and Wiksell, 1952.
Truesdell, C., "Experience, Theory, and Experiment", *Procedings of the Sixth Hydraulic Conference*, Boletín 36, University of Iowa Studies in Engineering, 1956.

PARTE III

LA APLICACIÓN DE LAS IDEAS CIENTÍFICAS: DE LA EXPLICACIÓN A LA ACCIÓN

Las teorías fácticas se construyen principalmente para explicar, prever o actuar. Las explicaciones reúnen elementos inicialmente aislados en un cuerpo unificado de conocimiento, y calman temporalmente una comezón intelectual. La predicción y la retrodicción conectan el presente con el futuro y el pasado a través de la teoría, y sirven también para contrastar éstas. La explicación y la predicción intervienen combinadas en el planeamiento racional y la ejecución de actos. Así pues, las teorías pueden aplicarse a objetivos de conocimiento o prácticos. Las aplicaciones cognoscitivas de las teorías –por ejemplo, las explicaciones y las predicciones– preceden a su aplicación práctica: antes de poder hacer algo racionalmente con un objetivo práctico tenemos que entender qué es (descripción), por qué es así (explicación) y cómo puede comportarse (predicción). Según esto, la acción racional –la acción contemplada por las varias tecnologías– es acción basada en conocimiento científico. Hay, sin duda, acción sin conocimiento científico, y hasta sin conocimiento conceptual. Pero es precisamente un rasgo distintivo de nuestra civilización el aumento del peso relativo de la acción racional siempre que la acción tiene alcance social. Y la acción racional no es sino la consumación de una elección hecha a la luz de teorías, o la ejecución de un plan construido con la ayuda de teorías. Procedamos, pues, al estudio de las tres principales aplicaciones de la teoría científica: la explicación, la predicción y la acción racional.

9. EXPLICACIÓN

El principal motivo de la invención y contrastación de hipótesis, leyes y teorías es la solución de problemas de por qué, o sea, la explicación de hechos y de sus pautas o regularidades. No nos contentamos con hallar hechos, sino que deseamos saber por qué ocurren en vez de lo contrario; y tampoco nos contentamos con establecer conjunciones constantes explicativas de hechos, sino que intentamos descubrir el mecanismo que explica esas correlaciones.

9.1. CONTESTACIÓN A LOS PORQUÉS

Las explicaciones son respuestas a porqués. Una pregunta del tipo porqué es una cuestión de la forma '¿Por qué *q*?', representando '*q*' cualquier cosa que haya que explicar (cf. sec. 4.2). El problema generador y el objeto de la explicación se llaman el *explanandum*, lo que hay que explicar. El explanandum puede ser un hecho (o, más bien, una proposición que exprese un hecho), una ley, una regla, un precepto o incluso una teoría entera. Puede ser, pero no tiene que ser necesariamente, algo infrecuente o que entra en contacto con una creencia anterior: en la ciencia por lo menos, lo que exige una explicación es el elemento *aislado*, que puede ser perfectamente un fenómeno corriente o una generalización de sentido común. La explicación es, en efecto, una especie de sistematización.

Una respuesta *racional*, adecuada o fundada a "¿Por qué *q*?" será de la forma "*q* porque *p*", en la que *p*, una fórmula compleja, es la *razón* de *q*. Como "*q* porque *p*" es lo mismo que "*p*, por tanto *q*", la razón, el fundamento o el explicador de *q* es una fórmula que la implica (o sea, tal que "$p \rightarrow q$" es formalmente verdadera). La razón o el motivo, generalmente un conjunto de fórmulas, se llama el *explanans*, lo que explica. Una respuesta *no racional* a '¿Por qué *q*?', en cambio, no dará ninguna razón de *q*, salvo *q* misma: frecuentemente consistirá en una afirmación lógicamente irrelevante para el explanandum *q*, como '*q* porque lo digo yo', o en una sentencia del tipo '*q* porque *q*'. No aceptaremos más que respuestas racionales a cuestiones de por-qué bien formuladas; toda respuesta de este tipo implicará lógicamente al generador de la cuestión, o sea, tal que *Explanans* $\vdash$ *Explanandum.* Llamaremos *explicación racional* a una argumentación que suministre una respuesta racional a una cuestión de por-qué correctamente formulada.

Por ejemplo, una respuesta a la cuestión '¿Por qué quemó *c* aquel borrador?' puede ser '*c* quemó aquel borrador porque estaba mal'. El explanandum y generador del problema es aquí "*c* quemó aquel borrador". Pero la proposición "Aquel borrador estaba mal", dada como razón, no implica por sí misma el explanandum y, por tanto, no puede constituir el explanans entero. Dicho brevemente: el dar la información "Aquel borrador es-

taba mal" no es motivo suficiente de "*c* quemó aquel borrador". Una explicación satisfactoria exigirá otra premisa más, como, por ejemplo, la generalización "*c* quema todos los borradores que están mal". La siguiente será entonces una explicación racional del hecho de que *c* quemó aquel borrador (o sea, se tendrá así una respuesta completa a la pregunta '¿por qué quemó *c* aquel borrador?'):

c quema todos los borradores que están mal (*Generalización*) Aquel borrador estaba mal (*Circunstancia*)	} EXPLANANS
c quemó aquel borrador (*Hecho explicado*)	EXPLANANDUM

Obsérvese que el explanans se ha escindido en una proposición general y otra singular, y que el explanandum es una consecuencia lógica de ambas. (En general, el explanans puede contener cierto número de generalizaciones y cierto número de datos.) Dicho de otro modo: la explicación racional de un hecho supone la *subsunción* del explanandum bajo una o más *generalizaciones* por medio de información relativa a las *circunstancias* que acompañan el hecho que se quiere explicar. (En el anterior ejemplo el explanans contenía una generalización empírica. La estructura lógica de la explicación de un hecho sería la misma si en el explanans apareciera un enunciado legaliforme propiamente dicho, en vez de una mera generalización empírica) Consiguientemente, una acumulación de datos, por numerosos y precisos que sean, no tiene potencia explicativa: sólo fórmulas lógicamente fuertes pueden suministrar explicaciones si se las pone en relación con datos.

La relación lógica entre el explanans completo, o fundamento, y el explanandum es

$$\{\text{Generalización(es), Circunstancia(s)}\} \vdash \text{Explanandum} \qquad [9.1]$$

o bien, abreviadamente, $\{G, C\} \vdash E$. Podemos leer esa fórmula así: 'G y C, luego E', o bien '$\{G, C\}$ es un explicans de E' . Muy a menudo la deducción consistirá en una mera especificación, o sea, en la sustitución de una variable por una constante. Ejemplo 1: {Todos los A son B, c es un A} $\vdash$ c es un B. Ejemplo 2: {pV = 1 atmósfera/litro, p = 2 atmósferas} $\vdash$ V = 1/2 litro.

*La situación es ligeramente diferente, pero sustancialmente la misma, cuando lo que se invoca para explicar algo es una regla o un precepto en vez de una ley. Supongamos que estamos intentando justificar el que se haya quemado el borrador del anterior ejemplo invocando la norma o precepto "Todos los borradores que están mal deben quemarse". El primer paso sería:

Todos los borradores que están mal deben quemarse (*Regla*) Aquel borrador estaba mal (*Circunstancia*)	} EXPLANANS
Aquel borrador debía quemarse	EXPLANANDUM MEDIO

Con eso estamos aún a medio camino entre el explanandum dado, "*c* quemó aquel borrador", y la explicación. Para conseguir una deducción del explanandum tenemos que conseguir una premisa más que se refiera a los hábitos o principios de *c*, o sea, alguna

generalización sobre *c*. Algo así como "*c* hace todo lo que se debe hacer", o algo parecido. Esta nueva premisa, en efecto, junto con la anterior consecuencia, da la conclusión deseada:

c hace todo que se debe hacer (*Generalización*) Aquel borrador debía quemarse (*Explanandum medio*)	} EXPLANANS MEDIO
c quemó aquel borrador	EXPLANANDUM

Cuando la explicación consiste en la subsunción bajo un conjunto de reglas, el esquema es algo más complejo, pero sigue siendo un esquema deductivo, a saber, la cadena

{*Regla*(*s*), *Circunstancia*(*s*)} $\vdash$ *Explanandum medio*

{*Generalización*(*es*), *Explanandum medio*} $\vdash$ *Explanandum* [9.2.]

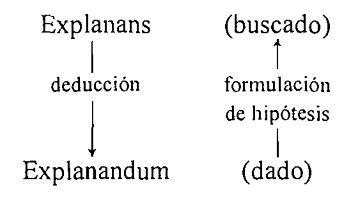
Las explicaciones con la ayuda de reglas son típicas, aunque no exclusivas, de la tecnología (ciencias aplicadas), mientras que las explicaciones a base de leyes son típicas de la ciencia pura. Lo típico y exclusivo de la tecnología es la explicación a base de reglas fundamentadas, de reglas basadas en leyes, o reglas precientíficas (cf. sec. 11.2). Pero en todos los casos tenemos un explanandum (el generador de la cuestión) y buscamos un conjunto de premisas explicativas que impliquen el explanandum. Según eso, una formulación más completa de la cuestión *¿Por qué q*? es *¿Cuál es* el (*conjunto de premisas*) *p* que *explica q*? Pronto veremos, empero, que no hay un conjunto único de premisas explicativas.*

Hay diferentes clases de explicación, según la naturaleza de las premisas del explicans. Así, por ejemplo, una explicación a base de leyes causales será distinta de una explicación a base de leyes estocásticas. Pero esas diferencias de contenido caen más allá del campo de la lógica: todas las explicaciones racionales, incluso las equivocadas, tienen la misma estructura lógica. En particular, una explicación a base de leyes estocásticas o probabilitarias (como la ley de distribución de las velocidades, de Maxwell) no es ella misma probable, del mismo modo que los razonamientos de la teoría de la probabilidad sobre ella, si son válidos, no son simplemente probables, sino estrictamente deductivos y, por tanto, concluyentes. Recuérdese que la lógica formal no se ocupa del contenido de las premisas y conclusiones de una argumentación, sino sólo de sus relaciones formales: para que el explicandum se siga lógicamente del explicans es necesario y suficiente que el condicional "Explanans → Explanandum" sea una verdad lógica.

La anterior discusión se resumirá en la siguiente *Definición* 1: Una *explicación racional* de una fórmula *q* es una respuesta a la cuestión '¿Por qué *q*?' y consistente en una argumentación que muestre que *q* se sigue lógicamente de un conjunto de generalizaciones o reglas y datos que no contienen a *q*. Obsérvese, ante todo, que esa definición se refiere a fórmulas (proposiciones y fórmulas proposicionales). No refiere directamente a hechos, porque la explicación es una operación conceptual y los hechos no quedan afectados porque se piense sobre ellos –a menos de que esos hechos sean pensamientos. La frase 'explicación de hechos' es elíptica y no debe tomarse literalmente: explicar un hecho no es, en efecto, sino *explicar una proposición* que describe un hecho. Seguiremos

usando esa expresión, pero construyéndola en el sentido recién indicado. En segundo lugar, nuestra definición deja lugar para más de una explicación de cada fórmula: habla de *una* respuesta, y no de *la* respuesta a una cuestión de por-qué. Esto tiene varias razones: (*i*) un mismo hecho puede describirse de varias maneras y, por tanto, todo un conjunto de proposiciones puede referirse a un solo hecho, y cada una de ellas puede merecer una explicación; (*ii*) aunque hubiera una correspondencia biunívoca entre los hechos y las proposiciones factuales, la explicación sería múltiple, porque cualquier fórmula dada se deduce de infinitos conjuntos de premisas; (*iii*) nos pueden interesar diferentes aspectos de una misma cuestión, o diferentes niveles de explicación, correspondientes cada uno de ellos a diferentes niveles de análisis; (*iv*) las explicaciones pueden variar con el cuerpo de conocimiento en el que tienen lugar. En resumen: en materias factuales no hay explicación única y definitiva. En tercer lugar, nuestra definición estatuye que el explicans no contenga el explicandum. Esto es para eliminar respuestas de la forma '*q* porque *q*', '*q* porque *p* y *q*', que son circulares y, por tanto, nada instructiva. A diferencia de la relación de deducibilidad, la relación explicans-explicandum es no-reflexiva. Volveremos a hablar de esto en la sección siguiente. En cuarto lugar, de acuerdo con nuestra definición una explicación no es una fórmula –como, por ejemplo, "$G \& C \rightarrow E$", que está implicada por "$\{G, C\} \vdash E$"– sino una secuencia de fórmulas que constituyen una argumentación válida. Esto no implica la afirmación recíproca, a saber, que toda argumentación deductiva sea explicativa. Una explicación requiere, además de la deducción, (*i*) una previa cuestión de por-qué (ingrediente pragmático) y (*ii*) un explicans en el cual hay al menos una fórmula general (por ejemplo, una ley o una regla) y una proposición singular (un dato). Brevemente: si *p* explica *q*, entonces *p* implica *q*, pero no a la inversa. Por eso una caracterización puramente sintáctica de la explicación sería incompleta; además, haría redundante al término 'explicación', puesto que bastaría con 'deducción'.

Hasta el momento hemos mencionado los siguientes rasgos de la explicación: (*i*) que consiste en responder a cuestiones de por-qué (aspecto *pragmático*); (*ii*) que se refiere a fórmulas, las cuales pueden o no referir a su vez a hechos y estructuras (aspecto *semántico*); y (*iii*) que consiste en una argumentación lógica con proposiciones generales y particulares (aspecto *sintáctico*). Un cuarto rasgo de interés de la explicación es de naturaleza *ontológica*: desde este punto de vista podemos decir que explicar un hecho expresado por un explicandum es insertar ese hecho en un esquema nomológico expresado por la(s) ley(es) o regla(s) implicadas por el explicans –o sea, localizar el hecho en un sistema de entidades interrelacionadas por leyes. Un quinto aspecto de la explicación es *gnoseológico*: desde este punto de vista la explicación procede a la inversa de la deducción. De hecho, lo dado al principio en la explicación es el explicandum, mientras que lo que hay que hallar son los miembros del explicans:



Este último rasgo de la explicación da razón de su poder genético, esto es, de su capacidad de producir hipótesis y sistemas de hipótesis. Como el explicans tiene que ser lógicamente más fuerte que el explicandum, la correcta formulación de las preguntas llevará a construir fórmulas de nivel cada vez más alto, o sea, fórmulas más generales y con más conceptos abstractos. Al preguntar por qué ocurren los hechos tal como lo hacen nos vemos movidos a conjeturar sus leyes; al preguntar por qué las leyes de nivel bajo son tal cual son, nos vemos llevados a construir leyes de nivel superior que impliquen las primeras; y así sin más límite que nuestro propio conocimiento actual. Por esta razón los problemas, y muy particularmente los problemas de por-qué, son el resorte de la ciencia (cf. sec. 4.1); y por esta razón la exigencia de dejar de explicar y concentrarse en la descripción o contentarse con lo ya explicado equivale a matar a la ciencia. Si no hay preguntas de por-qué no hay tampoco explicación; y si no hay hipótesis generales, corroboradas y sistemáticas sobre estructuras objetivas (esto es, enunciados legaliformes), no hay respuestas a preguntas de por-qué, o sea, no hay explicación científica. Dicho brevemente: la explicación es esencial a la ciencia (cf. sec. 9.7).

Un sexto aspecto de la explicación que debe interesarnos es el *psicológico*, la explicación como fuente de comprensión (cf. sec. 9.4). Pero antes de que podamos esperar una comprensión de este aspecto de la explicación tenemos que penetrar más profundamente en la lógica, la epistemología y la ontología de la explicación. Ante todo, tenemos que descubrir qué es lo que distingue la explicación científica de la no-científica.

Problemas

9.1.1. Etimológicamente, 'explicar' significa desplegar o desarrollar. ¿Coincide este sentido con el especificado por la definición propuesta en el texto?

9.1.2. Comparar el sentido de 'explicación' usado en esta sección con (*i*) *explicación de la significación* (o especificación de la misma), mediante ejemplos o reglas de designación, y (*ii*) la *dilucidación* en el sentido de afinación de conceptos. Recuérdese la sec. 3.2. *Problema en lugar de ése*: Comparar la explicación con la definición.

9.1.3. Las sentencias 'Tengo hambre porque tengo hambre y sed' y 'Posee un libro porque posee diez libros' son perfectamente correctas desde el punto de vista de la lógica. ¿Podrían considerarse explicaciones? *Problema en lugar de ése*: ¿Es correcto decir de una explicación que es verdadera o falsa?

9.1.4. En el texto se utilizó como premisa de un explicans la regla "Todos los borradores que están mal deben quemarse". ¿Debemos considerarla como un explicans último, o es posible sugerir una explicación de por qué deben quemarse todos los borradores que están mal?

9.1.5. Si los científicos tuvieran que limitarse a hacer, registrar y describir observaciones, absteniéndose de preguntarse por explicaciones. ¿introducirían hipótesis? Y, caso negativo, ¿irían muy lejos en esa actividad de recolectar datos científicamente válidos?

9.1.6. Dilucidar el concepto de *explicación parcial* tal como se presenta en el siguiente ejemplo. Explicandum: Un niño inteligente falta frecuentemente a clase. Premisas del explicans: "Los niños carentes de motivación faltan frecuentemente a clase" (generalización), y "El niño no está interesado por la escuela" (circunstancia). Podemos considerar eso como parte de la explicación (o como explicación parcial) del hecho dado. ¿Qué podría completar la explicación? ¿Es posible

conseguir alguna vez una explicación completa de un hecho real? Téngase cuidado en distinguir el hecho real del enunciado que lo expresa.

9.1.7. Examinar la tesis "No hay en la ciencia explicaciones definitivas". ¿Qué clase de proposición es? ¿Es una generalización empírica o una hipótesis propiamente dicha? En caso de que sea una hipótesis, ¿de qué clase? ¿Qué fundamentos puede tener, si es que los tiene? ¿Es refutable?

9.1.8. Algunos filósofos han pensado que el esquema de las explicaciones científicas es "$C \vdash E$", denotando 'C' las causas que producen los efectos denotados por 'E'. Examinar esa opinión de raíz aristotélica.

9.1.9. Durante siglos, ciertos fósiles se consideraron en China como huesos de dragón, dotados de determinadas virtudes médicas, hasta el punto de que se vendían en las boticas; los antropólogos los interpretaron como restos de *Sinantropus*. Esto ilustra la tesis de que la interpretación de los hechos depende del conocimiento básico poseído (en la ciencia, del conocimiento básico sistemático ya poseído). Desarrollar esta tesis.

9.1.10. Examinar la opinión de que las explicaciones estadísticas (las que contienen leyes o datos estadísticos) son, a diferencia de las explicaciones deductivas, casos de "razonamiento probabilístico" en el sentido de que el explanandum es en ellas una consecuencia probable, no cierta, del explanans. *Problema en lugar de ése*: Discutir la opinión de que el esquema generalización-circunstancia no cubre la explicación por motivos y fines, que es importante en las ciencias del hombre, y que, por consiguiente, estas ciencias reclaman una lógica de la explicación esencialmente diversa de la propuesta por Mill, Popper y Hempel.

9.2. EXPLICACIÓN NO CIENTÍFICA

Toda explicación racional de un hecho es una secuencia hipotético-deductiva que contiene generalización(es) e información (cf. sec. 9.1). Si la(s) generalización(es) y la información son científicas y la argumentación es correcta (lógicamente válida), hablamos de explicación *científica*, y también de explicación *nomológica*, con objeto de subrayar el papel de la ley científica en ella, o de explicación *teorética*, para aludir a la situación de la argumentación en un cuerpo de teoría. Si las generalizaciones y los datos son tecnológicos, llamamos a la explicación *tecnológica* y, a veces, *nomopragmática* (en vez de nomológica), para subrayar la función que desempeñan en ella las reglas fundamentadas, que son enunciados nomopragmáticos. Toda otra explicación, aunque sea racional al tenor de nuestra definición de la sección 9.1, se llamará *no-científica*. No hará falta decir que una explicación no-científica puede ser más correcta que mil explicaciones científicas: pero no es esto lo que interesa, pues la ciencia no tiene el monopolio de la verdad, sino sólo el de los medios de someter la verdad a prueba y reforzarla. La explicación no-científica ha de interesarnos porque su estudio da ulterior información acerca de lo que no es la ciencia, y porque se presenta en la práctica de ésta.

Pero antes de estudiar la explicación no-científica debemos estimar una clase de argumentación que frecuentemente se considera explicación aunque no satisface los requisitos establecidos en nuestra definición (cf. sec. 9.1), a saber, la etiquetación o *nominación*. La nominación es una pseudoexplicación que hay que citar al hablar de la explicación

por el mismo motivo que hay que hablar de las perlas inauténticas ("falsas") en un estudio sobre las perlas. La nominación tiene un papel importante en las discusiones ideológicas, en la pseudociencia e incluso en los primeros estadios de la ciencia (protociencia). He aquí algunos casos destacados de esta pseudoexplicación. (*i*) "¿Por qué difieren los cuerpos vivos de los cuerpos inertes? Porque poseen una fuerza vital" (vitalismo y, en particular, H. Bergson). (*ii*) "¿Por qué está tan extendido el mezquite [una planta mexicana]? A causa de su capacidad de ocupar nuevo terreno" (leído en un estudio ecológico). (*iii*) "¿Por qué duerme el opio? Porque posee *virtus dormitiva*" (el médico de Molière). (*iv*) "¿Por qué luchan tan a menudo los hombres? Porque tienen un instinto de agresión" (psicoanálisis). (*v*) "¿Por qué los animales superiores consiguen resolver con facilidad ciertos problemas? Porque han conseguido una especial comprensión" (psicología de la *Gestalt* o forma). (*vi*) "¿Por qué pueden los individuos recordar ciertas experiencias? A causa de su memoria" (psicología de las facultades, ahora rebautizada con el nombre de 'psicología de las capacidades'). (*vii*) "¿Por qué reprimimos ciertos sentimientos y pensamientos? Porque tenemos un censor en nosotros" (el super-ego de Freud). (*viii*) "¿Por qué los antiguos griegos destacaron prácticamente en todo? Porque eran un pueblo muy dotado" (leído en un libro de historia). (*ix*) "¿Por qué algunas personas se comportan inteligentemente? Porque tienen un alto IQ (cociente de inteligencia)". (*x*) "¿Por qué algunas personas aciertan con conjeturas que rebasan la consideración probabilista? Porque tienen capacidades paranormales" (parapsicología).

La peculiaridad lógica de la nominación es su circularidad: es de la forma "*q* porque *q*". El correlato epistemológico de esa circularidad es que consiste en lo que desde hace mucho tiempo se llama *explicatio ignoti per ignotum*, la explicación de lo desconocido por lo desconocido. Su correlato psicológico es que consiste en una *explicatio obscuri per obscurius*, explicación de lo oscuro por lo más oscuro. De hecho, decir que una vasija se ha roto porque era frágil o porque tenía la propiedad de fragilidad es repetir el explicandum de un modo ligeramente diverso y acaso más imponente. Ahora bien: las repeticiones son inocentes mientras no se presenten como explicaciones y no se utilicen para pasar de contrabando hipótesis falsas o incontrastables. Así, por ejemplo, el explicar la agresión efectiva como resultado de un instinto de agresión no es sólo circular, sino que entroniza la hipótesis de que un tal instinto existe efectivamente, conjetura refutada por la etología. Un ejemplo de pseudoexplicación que introduce de contrabando una hipótesis incontrastable es la explicación aristotélica del cambio como actualización o despliegue de una capacidad o potencialidad de cambio, la cual no puede ponerse a prueba sino por el cambio mismo. Con esto bastará como discusión de la nominación como pseudo-explicación.

Ahora recogeremos dos variedades de explicación racional que no son científicas: (*i*) la explicación *ordinaria*, argumentación que utiliza conocimiento común en vez de conocimiento científico, y (*ii*) la explicación *acientífica*, que contiene premisas manifiestamente falsas. Ambas son explicaciones racionales en el sentido de que satisfacen el esquema lógico "Explicans $\vdash$ Explicandum".

La explicación ordinaria de un hecho cumple correctamente el esquema "$\{G, C\} \vdash E$"; pero ocurre que en ella G no es un conjunto de leyes científicas, ni C un conjunto de datos científicos. En la explicación ordinaria G será una generalización de sentido común –un

enunciado que no será una ley, pero tendrá la forma de ellas–, como "Todos los cuervos son negros", y *C* y *E* describirán hechos conocidos o conjeturados por el sentido común. Los datos *C* y *E* contenidos en la explicación ordinaria pueden diferir en los siguientes respectos de los que se presentan en la explicación científica. En primer lugar, *C* y *E* pueden expresar *hechos enteros* (por ejemplo, acontecimientos) en la explicación ordinaria, mientras que en contextos científicos referirán por lo común *a rasgos seleccionados* (propiedades) de hechos, como, por ejemplo, las concentraciones inicial y final de un conjunto de agentes químicos. En particular, *C* y *E* suelen designar en la explicación ordinaria hechos, reales o imaginarios, que se suponen accesibles por medios ordinarios, mientras que en la ciencia no se ponen esas restricciones: '*C*' y '*E*' pueden designar, efectivamente, en la ciencia valores de propiedades inferidas.

Es claro que la explicación ordinaria puede ser correcta: las premisas *G* y *C* pueden ser verdaderas y válida la derivación de *E* a partir de ellas. Así, por ejemplo, puede ser verdadero decir que el automóvil se paró porque se quedó sin gasolina, si efectivamente se le había acabado ésta, lo cual puede contrastarse por el simple procedimiento de cargar de nuevo el combustible y ver si el coche anda; la generalización contenida implícitamente, sobre la relación constante entre la gasolina y el *output* del motor, es también verdadera. Pero otras tantas veces la explicación ordinaria es incorrecta porque supone información falsa o, más frecuentemente, porque usa generalizaciones falsas o incontrastables. Pero la principal deficiencia de la explicación ordinaria es, desde luego, que en muchos casos importantes no puede precisarse ulteriormente sin dejar de ser ordinaria.

Consideremos, por ejemplo, la cuestión ¿Por qué sentimos fresco cuando, después de haber nadado, nos secamos al sol? Un no científico puede contestar más o menos: 'Para evaporarse, el agua que aún llevamos en la piel absorbe calor del cuerpo'. El físico rechazará esa explicación teleológica y ofrecerá en su lugar alguna de las siguientes: (*i*) "Por la evaporación el agua toma alguna energía atómica del cuerpo; este calor de vaporización puede calcularse". (*ii*) "Al encontrarse en contacto con el cuerpo, las moléculas de agua chocan con las de la piel y reciben nueva energía cinética; una consecuencia de ello es que la piel se enfría (disminución de energía cinética), y otra que las moléculas de agua rebasan la tensión superficial (se evaporan)". La primera de esas dos explicaciones científicas está formulada con términos macroscópicos, en cuanto al sentido, la segunda utiliza conceptos referentes a lo macroscópico y a lo microscópico. Ambas contienen términos no familiares, pero son contrastables y, además, sistémicas: son aplicaciones de teorías científicas. La diferencia entre ellas es de profundidad: la segunda explicación es más profunda que la primera en el sentido de que, al poner en relación un macrohecho (descenso de temperatura) con un conjunto de microhechos (colisión y escape de moléculas), suministra una explicación más completa del explicandum. Dicho brevemente: mientras que la explicación ordinaria es extrasistemática, la explicación científica es *sistemática*, o sea, tiene lugar en el seno de algún sistema conceptual; además, es contrastable y perfectible cosa que puede no ser la explicación ordinaria.

Otro rasgo más de la explicación ordinaria que la distingue de la explicación científica es que puede proceder sin criticar previamente lo que se pretende explicar. La explicación científica, en cambio, es respuesta a un problema *bien formulado*, o sea, a un problema bien concebido y bien expresado (cf. sec. 4.2). En el contexto de la no-ciencia no

se tienen tan severas restricciones a las preguntas, hasta el punto de que no se rechazan, sino que se responde con celo a preguntas como '¿Por qué son tan ruidosos los fantasmas?' o '¿Por qué algunas personas son buenos medios espiritistas?' o '¿Por qué castigó Zeus a Prometeo?'. En cambio, la explicación científica consiste muchas veces en eliminar el explicandum mostrando que no es cosa que deba explicarse. Éste es un procedimiento legítimo para *explicar eliminativamente.* (Hay en cambio formas ilegítimas de eliminación: (*i*) pasar por alto una pieza de evidencia desfavorable para la hipótesis preferida, introduciendo una hipótesis *ad hoc* que cubra precisamente la excepción, y (*ii*) negarse a reconocer niveles suprafísicos de la realidad reduciéndolos violentamente al nivel físico. Sobre esto último, cf. sec. 9.5.) Dicho brevemente: mientras que la explicación ordinaria tiende a aceptar ingenuamente todo problema de por-qué, la explicación científica exige que el explicandum sea al menos verosímil. La tabla 9.1 resume esa discusión.

TABLA 9.1. EXPLICACIÓN RACIONAL

Ordinaria	*Científica*
Sin restricción sobre las cuestiones de por-qué.	Restringida a cuestiones bien-formuladas.
Sin restricciones sobre la fiabilidad del explanandum ni de las circunstancias.	Los datos sobre el explanandum y las circunstancias han de ser contrastables.
El explanandum refiere a un hecho íntegro.	El explanandum refiere a aspectos seleccionados de un hecho.
Las premisas del explanans son imprecisas.	Las premisas del explanans son precisas.
Las generalizaciones supuestas son extrasistemáticas: generalizaciones empíricas, hipótesis *ad hoc* o meros mitos.	Las generalizaciones supuestas son sistemáticas, leyes.
Precisión y profundidad difícilmente mejorables sin salir de sus medios.	Precisión y profundidad mejorables.

Un tipo destacado de explicación racional que a primera vista parece desafiar el esquema "$\{G, C\} \vdash E$" es el esquema de inferencia corrientemente llamado *diagnóstico* o *interpretación* de hechos (no de signos artificiales). El diagnóstico es importante en la vida cotidiana y en la ciencia aplicada, en medicina, por ejemplo, en la cual consiste en descubrir enfermedades sobre la base de la observación de síntomas. El diagnóstico es frecuentemente ambiguo, porque las relaciones entre las causas y los síntomas son frecuentemente sólo unívocas, no biunívocas. Puede reducirse la ambigüedad por medio de más observaciones y más profundo conocimiento, como cuando se localiza la causa de dolores de cabeza recurrentes entre una larga lista de causas posibles. Pero rara vez puede eliminarse totalmente aquella ambigüedad. Otra fuente de ésta es la formulación in-

completa de las generalizaciones relevantes. Veamos hasta dónde podemos llegar en la reducción de ambigüedades de este tipo.

Consideremos el hecho expresado por la siguiente sentencia: 'El Presidente *X* ha nombrado al señor *Y* representante de Estados Unidos en la ONU'. Puede darse de este hecho cualquiera de las siguientes interpretaciones (diagnósticos hipotéticos):

1. El nombramiento muestra la gran (pequeña) importancia que el Presidente *X* atribuye al señor *Y*.
2. El nombramiento muestra la gran (pequeña) importancia que el Presidente *X* atribuye a la ONU.
3. El nombramiento muestra la gran (pequeña) importancia que el Presidente *X* atribuye al señor *Y* y a la ONU.

La hipótesis 1 *presupone* que el Presidente *X* atribuye a las ONU una importancia grande (pequeña). La conjetura 2 presupone que el Presidente *X* atribuye al señor *Y* una importancia grande (pequeña). Y la sospecha 3 coincide con su propia presuposición. Mostraremos que todas ellas satisfacen el esquema de la explicación racional.

1. Generalización: "A grandes (pequeñas) tareas, grandes (pequeños) hombres", o "Si una tarea es grande (pequeña), entonces el que la satisface (o debería hacerlo) es grande (pequeño)." Circunstancia: "La tarea de representar a Estados Unidos en la ONU es grande (pequeña)." Explicandum (conclusión): "El representante de Estados Unidos en la ONU es un gran (pequeño) hombre". Es claro que esto coincide con el explicandum, puesto que "El representante de los Estados Unidos en la ONU" no es más que una descripción definida del señor *Y*.

2. Generalización: "A grandes (pequeños) hombres, grandes (pequeñas) tareas", o "Si un hombre es grande (pequeño), entonces toda tarea que se le asigne es (o debe ser) grande (pequeña)." Circunstancia: "El señor *Y* es un gran (pequeño) hombre." Explicandum o conclusión: "La tarea atribuida al señor *Y* es grande (pequeña)."

3. Generalización: "A grandes (pequeños) hombres, grandes (pequeñas) tareas, y recíprocamente", o "Un hombre es grande (pequeño) si y sólo si se le atribuye una tarea grande (pequeña)". Circunstancia: "La ONU y el señor *Y* son grandes (pequeños)". Explicandum o conclusión: "La tarea de representar los Estados Unidos en la ONU y el señor *Y* son grandes (pequeños)."

Como vemos, el enunciado diagnóstico es el explicandum de una explicación racional. El hecho o síntoma que hay que interpretar no se presenta en el diagnóstico más que como punto de partida: lo que debe considerarse necesitado de explicación es un hecho no-observable, a saber, el referente del explanandum o diagnóstico. El autor de cualquiera de las inferencias 1-3 saltó del síntoma al diagnóstico acaso sin pensar en las premisas de la explicación: éstas se introdujeron o explicitaron sólo a posteriori, en un intento de dar validez al salto. Como consecuencia de no explicitar las premisas, la interpretación de signos naturales es más ambigua de lo que tendría que ser. Tal es corrientemente el caso de la interpretación (explicación) histórica, la cual contiene generalizaciones de sentido común y a veces (por ahora) enunciados tomados de la psicología y la sociología. Las ambigüedades de la historia podrían disminuirse convirtiendo esos presupuestos en premisas explícitas. Pero entonces la historia atraería a pocos escritores.

Tras haber estudiado la explicación ordinaria y sus deficiencias atendamos ahora a la

explicación *acientífica*, o sea, la explicación a base de premisas falsas. Ésta se presenta no sólo en el contexto de doctrinas pseudocientíficas y anticientíficas, sino incluso en textos científicos. Un ilustre ejemplo es la corriente respuesta a la pregunta '¿Por qué se curvan los rayos de luz cuando pasan rozando un astro?' En gran número de textos se encuentra la siguiente explicación: En primer lugar, la teoría especial de la relatividad contiene la ley "Energía = Masa × Cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío" (ya el aducir esta ley es en parte incorrecto, porque el teorema pertenece a una teoría de cosas dotadas de masa, por lo que es inaplicable a la luz). En segundo lugar, la anterior ecuación significa que la masa y la energía son lo mismo, salvo por un factor constante (afirmación falsa), o, por lo menos, equivalentes (verdad a medias), y, particularmente, que todo lo que tiene energía tiene también masa (falso). En tercer lugar, como la luz tiene energía (verdadero), tiene también masa (falso). En cuarto lugar, como la luz tiene masa (falso) y como todo lo que tiene masa es atraído y consiguientemente desviado de su trayectoria por un cuerpo (verdad), cualquier cuerpo atraerá la luz (falso). En quinto lugar, como todo lo que atrae desvía, el cuerpo desviará la luz; en particular, un cuerpo celeste desviará un rayo de luz (verdad). Esta explicación es perfectamente racional, porque subsume el explicandum (generalización) bajo generalizaciones más amplias; pero es una explicación falsa. Además, es acientífica porque se basa en una generalización sin garantías de un teorema mecánico –"$E = mc^2$"– a la óptica. Esta generalización es una falacia, porque de la proposición "Si la masa de un sistema es m, entonces la energía total del sistema es mc^2" no se sigue la recíproca, "Si la energía total de un sistema es E, entonces la masa del sistema es $m = E/c^2$". La derivación ha sido "formal" en el sentido de que se ha realizado una transformación aritmética (de "$E = mc^2$" a "$m = E/c^2$") sin prestar atención a las significaciones físicas de los símbolos, significación que no puede precisarse, sino poniendo de manifiesto la variable de objeto de E y m, una variable que denota un punto de masa cualquiera. De este modo se ha violado la condición de cierre semántico (cf. sec. 7.2), porque se ha metido de contrabando en una teoría que no lo contenía inicialmente el concepto de masa de un rayo de luz.

El caso de explicación acientífica que acabamos de discutir muestra simplemente una mala aplicación de una teoría científica estimablemente verdadera, mala aplicación debida a la comprensión errónea de una de sus fórmulas, incomprensión, dicho sea de paso, posibilitada por el descuido de la lógica. Tales errores son corrientes, e inofensivos a la larga; por otra parte, alguna explicación equivocada de una teoría científica puede a veces sugerir su extensión a un nuevo terreno. Otro tipo de explicación acientífica es el que supone premisas abiertamente falsas, resueltamente incontrastables o hasta sin sentido, pertenecientes a la pseudociencia. Tales doctrinas mezclan predicados escrutables con otros que son inescrutables, de tal modo que por arte de birlibirloque pueden a veces derivar un explicandum. El juego es en realidad fácil. Tomemos como premisas "Todas las estrellas son patapúm" y "Todo patapúm es caliente"; 'patapúm' designa la propiedad inescrutable que queramos. De las dos premisas se sigue correctamente "Todas las estrellas son calientes", lo cual es sin duda verdad. Pero no consideramos científica esta explicación del calor de las estrellas; los supuestos iniciales de la teoría del patapúm son incontrastables e infundados, aunque puedan tener sentido en el contexto del patapumismo.

Para conseguir una explicación científica de un hecho es necesario, pero insuficiente,

poder reducir las propiedades que expresan ese hecho de datos y generalizaciones que pertenezcan a un sistema científico. Esta condición se detallará en la sección siguiente. Pero antes de eso vale la pena observar que la mera existencia de juegos acientíficos como el patapumismo significa una seria crítica de la doctrina según la cual las teorías no son sino expedientes convencionales o juegos que permiten la sistematización de proposiciones observacionales.

Problemas

9.2.1. Plantear una cuestión de por-qué y hallarle una respuesta ordinaria o científica. *Problema en lugar de ése*: Un médico observa que la córnea de los ojos de un hombre está amarilla. ¿Cuál es su diagnóstico? ¿Carece ese diagnóstico de ambigüedad? Si no, ¿cómo la supera el médico?

9.2.2. Analizar el caso siguiente, atendiendo en especial a la contrastabilidad de las hipótesis implicadas. Explanandum: "El dolor producido por un estímulo dado disminuye por la interposición de otro estímulo" (¿hecho, resumen de observaciones, hipótesis de nivel intermedio?). Generalización del explanans # 1: "La atención del sujeto se distrae por la aplicación del segundo estímulo, de modo que percibe el dolor menos intensamente (pero el dolor sigue existiendo)". Generalización del explanans # 2: "Un estímulo positivo aplicado a un sistema nervioso puede atenuar o hasta inhibir completamente la actividad de otros centros nerviosos del sistema" (ley de inducción negativa, Pavlov).

9.2.3. Historiadores, sociólogos y psicólogos han ofrecido frecuentemente explicaciones basadas en conceptos sobre la naturaleza humana. Por ejemplo: "Es de la naturaleza humana el intentar mejorar (y, por tanto, progresar)", o "Es propio de la naturaleza humana conformarse fácilmente (y, por tanto, estancarse y declinar)". Estudiar la lógica de ese tipo de explicación. *Problema en lugar de ése*: Como numerosas explicaciones históricas se encuentran fuera de la lógica, algunos filósofos de la historia han llegado a la conclusión de que no existe la explicación histórica o que, si existe, tiene que ser radicalmente diferente de lo que hemos venido llamando explicación racional. Sobre el "modelo deductivo" de explicación en su aplicación a la historia, cf. K. R. Popper, *The Open Society and its Enemies*, 4a. ed., 1945; Londres, Routledge and Kegan Paul, 1962, cap. 25, y *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., 1944; Londres, Routledge and Kegan Paul, 1960, sec. 30, y C. G. Hempel, "The Function of General Laws is History", *Journal of Philosophy*, *39*, 35, 1942.

9.2.4. Un físico famoso ha dicho: "Inmediatamente después de una colisión no elástica con otra partícula, el núcleo atómico intenta descargarse de su energía de excitación del modo más sencillo posible". ¿Es eso una explicación de la decadencia nuclear? Si lo es, ¿de qué tipo? ¿Podrían citarse otros ejemplos de explicación del mismo estilo hallados en publicaciones científicas?

9.2.5. Discutir la tesis –sostenida por los filósofos del lenguaje ordinario– de que el modo correcto de plantearse el problema de la explicación científica consiste en repasar y analizar los usos del verbo 'explicar' en el habla ordinaria.

9.2.6. Los ruidos aparentemente espontáneos oídos en ciertos edificios antiguos en malas condiciones se han explicado muchas veces como debidos a fantasmas; hasta ha habido conferencias internacionales sobre "fenómenos espontáneos", a las que han acudido algunos científicos. ¿Son científicas esas explicaciones? Si no lo son, ¿es razonable aceptarlas o inferir que se refieren a fenómenos inaccesibles a la explicación científica?

9.2.7. La explicación de los hechos a base de predisposiciones, capacidades o potencialidades ha sido condenada por circular y, consiguientemente, por ser una pseudoexplicación. Ese criterio

hemos adoptado en el texto. ¿Se sigue de ello que no pueda atribuirse a las cosas predisposiciones, capacidades o potencialidades?

9.2.8. La escuela hermenéutica, desde Dilthey, Rickert y Weber hasta nuestros días, sostiene que todo lo social "es un texto o parecido a un texto", de modo que debe ser "interpretado" y, en particular, en función de intenciones (supuestas). Averiguar si semejante "interpretación" difiere de la hipótesis, y si hechos macrosociales, tales como la sobrepoblación, la desocupación, la pobreza, las guerras civiles y el deterioro ambiental pueden explicarse exclusivamente en función de las intenciones (conjeturadas) de individuos. Cf. H. Albert, *Kritik der reinen Hermeneutik*, Tübingen, J. C. B. Mohr, 1994; M. Bunge, *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998.

9.2.9. Las explicaciones teleológicas suelen ser falsas cuando se refieren a acontecimientos por debajo del nivel psíquico, y por esta razón deben evitarse siempre que sea posible (cf. sec. 5.9: principios de parsimonia de niveles, contigüidad de niveles y nivel de origen). ¿Puede decirse lo mismo respecto de cuestiones teleológicas como '¿Cuál es la función (o el uso) de x?' Caso de respuesta afirmativa: ¿cómo es entonces posible que una pregunta teleológica dé lugar a investigación fecunda, y que las respuestas teleológicas a esa cuestión sean oscuras y hasta confusionarias?

9.2.10. ¿Deben desterrarse de toda ciencia las explicaciones teleológicas, o pueden aceptarse *in extremis* y siempre que se refieran a hechos de los niveles más altos y con la condición de que no se consideren definitivas, sino aún necesitadas de explicación no-teleológica?

9.3. SUBSUNCIÓN CIENTÍFICA

Como las explicaciones plenamente formuladas, científicas o no, satisfacen todas el mismo esquema lógico (cf. secs. 9.1 y 9.2), la lógica será incapaz de decirnos la diferencia entre una explicación científica y otra no-científica. Para recoger esta diferencia bastará con recordar que toda deducción se hace en algún contexto, y que la peculiaridad de la deducción científica es que tiene lugar en el marco de teorías científicas, adultas o no (cf. sec. 7.3). La explicación ordinaria, en cambio, se hace en el cuerpo del conocimiento ordinario, que es un mosaico incoherente y discontinuo. Esto sugiere la adopción de la siguiente *Definición* 2: Una *explicación científica* de una fórmula q es una respuesta a un problema científico bien planteado de la forma por-qué, y consiste en una argumentación que muestra que q se sigue lógicamente de una teoría científica (o un fragmento de teoría científica, o un conjunto de fragmentos de teorías científicas), hipótesis científicas auxiliares y datos científicos, ninguno de los cuales contiene a q.

Los datos que intervienen en una explicación científica serán elementos de información acerca de ciertas propiedades características del hecho que se quiere explicar. No *todas* las propiedades, lo cual sería imposible, e inútil incluso si fuera posible, sino sólo aquellas que son relevantes para las generalizaciones utilizadas. Por ejemplo, en la explicación de E por la argumentación "$\{G, C\} \vdash E$", y 'C' no referirá a un hecho entero, sino a un conjunto de propiedades de un hecho. Muy a menudo, C será un conjunto de determinados valores de algunas de las variables que se presentan en G. Así, por ejemplo, en el problema de la caída libre C será el par ⟨posición inicial, velocidad inicial⟩.

Éstas se llaman las *condiciones iniciales* del problema. Y en el problema, más complejo, de una cuerda vibratoria ideal, *C* será el conjunto de los siguientes elementos: la forma de la cuerda y su velocidad cuando se la suelta (condiciones iniciales) y la amplitud de la cuerda en los extremos fijos (*condiciones límite*). (Cf. fig. 9.1.) Son condiciones en el sentido de que tienen que quedar satisfechas por la solución general; en otro caso son datos (actuales o supuestos).

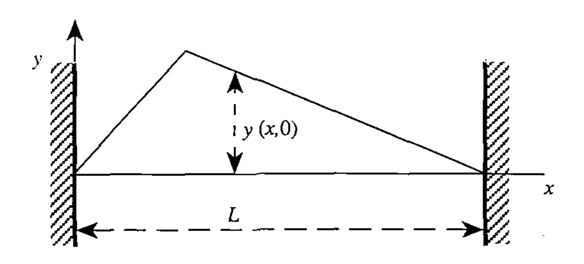


FIGURA 9.1. Condiciones iniciales y límite en el problema de la cuerda vibratoria. Condiciones iniciales: $y(x, 0) = f(x)$ y $\frac{\partial y}{\partial y}(x, 0) = g(x)$. Condiciones límite: $y(0, t) = 0$, e $y(L, t) = 0$.

En general, cuando se trata de problemas susceptibles de tratamiento cuantitativo, *C* constará de información relativa a las condiciones iniciales y límite, la cual será muy a menudo puramente conjetural, no leída en instrumentos. En cualquier caso, '*C*' no denota un acontecimiento íntegro, sino un conjunto de propiedades suficiente para caracterizar una determinada situación (por ejemplo, el estado inicial de una cinta elástica). *C* no puede ser una descripción completa de un acontecimiento íntegro, primero porque nunca es posible una tal descripción completa; segundo porque, de ser posible, sería un estorbo: necesitamos todos y sólo los datos que son relevantes para las generalizaciones utilizadas, y las leyes científicas no se refieren a hechos íntegros, sino a determinadas y seleccionadas propiedades de ellos (cf. sec. 6.1). Por otro lado, en contextos no científicos '*C*' puede referir a un hecho íntegro, por ejemplo, a la causa de *E*.

Para entender mejor las peculiaridades de la explicación científica analizaremos un caso que se encuentra al alcance del sentido común, de modo que puede plantearse con o sin teoría científica. Supongamos que alguien pregunta: '¿Por qué me sangró la nariz al subir aquella montaña de 5 000 metros?' Pueden concebirse varias respuestas de conocimiento ordinario, tantas cuantas clases de trasfondo cultural. Una de esas respuestas puede ser: 'Porque a mucha gente le sangra la nariz cuando sube a 5 000 o más metros'. Esto nos permite decir que es muy probable que a todo el mundo le sangre la nariz cuando se encuentra en la cima de una montaña de 5 000 metros. Será una explicación casual, pero no científica, porque no está inserta en ninguna teoría científica. Una respuesta científica a la cuestión empezaría por examinar críticamente el explicandum y, tras haberlo hallado verdadero o verosímil, procedería a construir un grosero *modelo ideal* de las partes relevantes del cuerpo, o sea, de la nariz y el sistema circulatorio. Idealizaría, por ejemplo, el sistema como si fuera una vasija con una abertura en la parte alta y prácticamente llena

de cierto líquido (cf. fig. 9.2). Ese modelo se trataría entonces mediante la teoría física ordinaria hidrostática) en combinación con el principio metafísico de la parsimonia de niveles. El derrame del líquido se explica fácilmente por la disminución de la presión atmosférica que mantiene el nivel del líquido. Una vez conseguida la explicación del hecho físico, lo aplicamos a la nariz que sangra, suponiendo que ese sangrar no es más que el derramarse de un líquido como consecuencia de su expansión por la disminución de la presión. De este modo se ha explicado un hecho biológico a base de conceptos físicos.

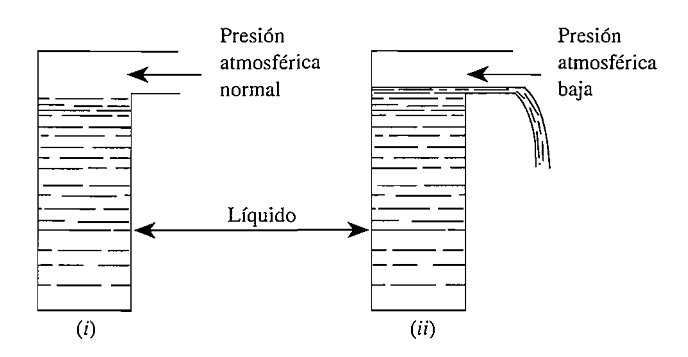


FIGURA 9.2. Modelo físico de la nariz: (*i*) a altitud normal; (*ii*) a altitud superior.

Obsérvense los siguientes rasgos de la anterior explicación científica de un hecho de la vida ordinaria. En primer lugar, lejos de ser *ad hoc* la explicación se aplica a un número ilimitado de ejemplos análogos, como el derramamiento de la tinta de las estilográficas cuando se viaja en un avión cuya cabina no esté presurizada; eso es, naturalmente, una consecuencia de haber insertado el problema dado en una teoría universal. En segundo lugar, la explicación ha supuesto la construcción de un modelo ideal de un sistema real, y precisamente un modelo que pudiera insertarse en una teoría existente, para lo cual se han tenido que eliminar la mayoría de las circunstancias que completaban el cuadro. En tercer lugar, la explicación es perfectible. Por ejemplo, con unas pocas premisas adicionales –entre ellas la ley que relaciona la altitud con la presión atmosférica, y la presión arterial del sujeto– podemos explicar por qué su nariz empezó a sangrar precisamente cuando alcanzó una determinada altura: o sea, podemos suministrar una explicación cuantitativa (y hasta una predicción) del hecho dado, en vez de una explicación cualitativa, si usamos generalizaciones y datos cuantitativos. Esas tres características *–universalidad, uso de modelo y perfectibilidad–* son peculiares a la explicación científica y tecnológica.

Además, con la adición de las premisas cuantitativas antes mencionadas podemos explicar por qué todas las personas de presión arterial inferior a la del sujeto dado *no* sangrarían en las mismas circunstancias del caso. Y este rasgo es también importante: nos interesa explicar ciertos hechos y explicar el que no ocurran otros hechos concebibles, o sea, nos interesa también dar respuesta a cuestiones del tipo '¿por qué no-*p*?'. Un caso de particular interés en el cual se pide la explicación de un *no-hecho* tiene lugar cuando, según nuestras teorías, debería ocurrir *p* y, sin embargo, la experiencia arroja tenazmente el

resultado no-p. Así, por ejemplo, un físico puede querer explicar por qué no se observa una determinada transición que debería ser posible según sus cálculos; el historiador militar preguntará por qué los mongoles detuvieron su victoriosa invasión de Europa, por qué los nazis no llevaron a cabo sus planes de invasión de una Gran Bretaña relativamente impreparada, etc. Las explicaciones de no-hechos pueden ser tan importantes como la investigación de lo que ocurre, ya porque indique una falta de condiciones necesarias para que ocurra el hecho correspondiente, ya porque apunte a una deficiencia de nuestro conocimiento; una tal deficiencia puede consistir en el desprecio de un factor que es suficiente para evitar que ocurra el hecho previsto. En este último caso la explicación del no-hecho exigirá un nuevo conjunto de premisas, o sea, estimulará la corrección de la teoría relevante y/o de la información relevante.

Consideremos ahora, en vez de un hecho aislado, una secuencia temporal de hechos singulares: por ejemplo, los sucesivos acontecimientos que constituyen la historia de una especie biológica o de una comunidad humana. Si la secuencia presenta algún esquema de orden en vez de carácter casual, hablamos de tendencia histórica –y confundimos a menudo tendencia con ley. (Sobre la diferencia entre tendencia y ley, cf. sec. 6.6.) El estudio continuado de un sistema, elemental o complejo, da su *historia* más que sus leyes. Es verdad que una historia –por ejemplo, el diagrama espacio-temporal de un electrón en un campo– puede analizare y, por tanto, explicarse a base de las leyes del sistema; pero eso es otra cuestión. En todo caso, algunas historias, en vez de ser series temporales al azar, presentan tendencias determinadas. ¿En qué consiste la explicación de tendencias? Es esencialmente lo mismo que la explicación de hechos singulares. Por ejemplo, las tendencias evolutivas son parcialmente explicadas por la teoría de la evolución: esta teoría las explica con la ayuda de ciertas leyes de la genética y de la ecología. (Se discute acerca de si la teoría de la evolución contiene sustantivas *leyes de evolución*. En cualquier caso, sigue siendo un desideratum incumplido de la biología teorética (*i*) el establecer exactamente los supuestos iniciales de la teoría de la evolución y (*ii*) el deducir sus axiomas de los principios, más fundamentales, de la genética y la ecología.)

Pasemos ahora de los hechos y las secuencias de hechos a las generalizaciones sobre unos y otras. De hecho la mayoría de las explicaciones que se consideran explicaciones de hechos lo son de generalizaciones, y esto simplemente por la infracción lingüística que consiste en llamar *hechos* a todas las generalizaciones que nos parecen seguras. Cuando hace un momento preguntábamos por qué las narices sangran en las grandes alturas, no debíamos, en realidad, buscar explicación al *hecho* de que las narices sangren en esas circunstancias, porque no *hay* tal hecho: lo que podemos buscar es una explicación de la *generalización* empírica según la cual las narices sangran a grandes alturas. Lo mismo puede decirse de muchos llamados *hechos científicos*: no son sino generalizaciones de nivel bajo razonablemente establecidas (o, por el contrario, descuidadamente afirmadas sin contrastación).

Una explicación científica de tales generalizaciones de nivel bajo, por familiar que sea, puede resultar compleja o hasta inaccesible. Tomemos, por ejemplo, la familiar verdad según la cual la sed aumenta cuando se bebe agua del mar. La explicación corriente de esta generalización requiere un modelo fisiológico. Cuando se bebe agua marina una parte de ella pasa a la sangre; la gran concentración de sal produce, como reacción, una difusión de agua de los tejidos próximos a la sangre (ósmosis), como se muestra en la figura 9.3. Consecuente-

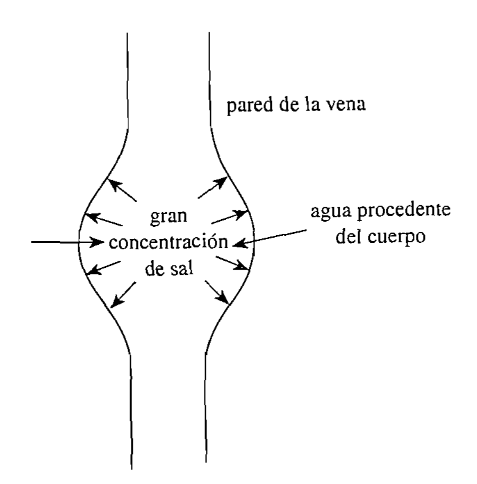


FIGURA 9.3. Un modelo para explicar la deshidratación de los tejidos del cuerpo. Las moléculas de sal que están en exceso no se difunden a través de las paredes de las venas, y ejercen una presión sobre ellas; esta presión adicional se equilibra por la del agua que se difunde en el sentido contrario.

mente, la sangre se hace más acuosa mientras se seca el protoplasma somático. Este hecho excita el hipotálamo, y la contrapartida psíquica de esa situación del sistema nervioso es la sensación de sed. La explicación de un "hecho" familiar (generalización de nivel bajo) ha requerido la construcción de una cadena de factores determinantes que arrancan del nivel físico y terminan en el psíquico de acuerdo con el principio metafísico de la contigüidad de niveles (cf. sec. 5.9). La tabla 9.2 resume el modelo supuesto en la explicación de esa generalización empírica. Se observará que la cadena de acontecimientos que se producen en los varios niveles parte de los niveles más bajos, pero no supone una reducción de la sed a la ósmosis ni tampoco a la consecuencia de ésta, la desecación del protoplasma: lejos de ser una explicación reductiva en sentido propio, la anterior explicación apela a ciertas particularidades de los varios niveles. Es una explicación multinivel. (En la sec. 9.5 se hablará más acerca de este punto.) Nuestro ejemplo presenta otra interesante característica: explica lo familiar por lo que no lo es, lo conocido por lo conjeturado; pero este rasgo, que es peculiar a la explicación científica, nos ocupará en la sección 9.4.

TABLA 9.2. DE LA HIDRATACION A LA SED

Explicación ↑	Sed	*Nivel psíquico*
	Excitación del hipotálamo	*Nivel biológico*
	Deshidratación de las células	
	Difusión del agua	*Nivel físico*
	Presión osmótica	

La ciencia es, pues, en principio, capaz de explicar las generalizaciones empíricas, ya las del conocimiento ordinario, ya las que son propias de un estadio temprano de la investigación científica. Pero puede hacer más que eso: puede explicar *leyes* en sentido

propio, no sólo cualitativas, sino también cuantitativas. El esquema de la explicación de leyes es ligeramente diferente de la forma lógica de explicación de los hechos singulares, pero encaja dentro de la Definición 2 formulada al principio de esta sección. En realidad, una ley científica se explica *deduciéndola de otra(s) ley(es)*, acaso con la ayuda de *hipótesis subsidiarias*. Consiguientemente, el proceso de explicación científica tiene un límite dentro de cada teoría, pues no puede ir más allá de los axiomas de cada teoría. Los axiomas mismos no pueden explicarse más que subsumiéndolos bajo una teoría más general; pero en cada estadio de la historia de la ciencia la explicación está limitada por la teoría más rica que se posea.

Un caso históricamente importante de explicación de leyes es la derivación de la ley galileana de la caída libre de los graves en la mecánica de Newton, deducción que fue para ésta una de sus principales confirmaciones. La deducción se resume en el diagrama arborescente que se da a continuación. Se observará que las dos leyes de nivel más alto entre las supuestas no bastan para deducir la ley de Galileo. Se han añadido dos supuestos subsidiarios: el supuesto tácito de que la única fuerza activa es la gravedad y el supuesto explícito de que el cuerpo viaja una distancia despreciable en comparación con el radio de la Tierra, de tal modo que la distancia r entre el cuerpo y el centro de la Tierra pueda considerarse constante. Ambos supuestos son ficciones: el primero, porque en las

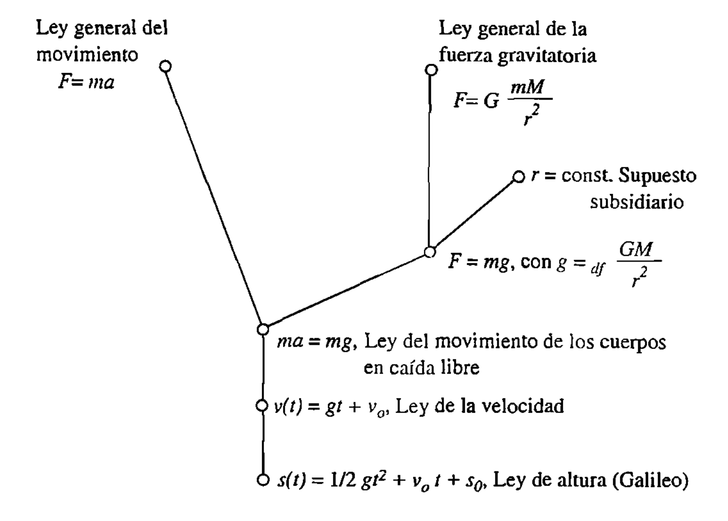


FIGURA 9.4. Deducción de leyes, de bajo nivel, de la caída libre a partir de leyes de nivel alto más supuestos subsidiarios.

situaciones reales siempre hay fuerzas que se añaden a la gravedad; el segundo es obviamente falso. El primero no es una premisa explícita, sino un presupuesto: no se presenta en la deducción misma, pero aparece en la elección de las premisas. Los dos son, pues, ficciones, verdaderas con cierta aproximación; son *supuestos subsidiarios* (no leyes) que regulan la aplicación de las leyes básicas. Generalizando y resumiendo, los esquemas de explicación científica que hemos encontrado hasta el momento son:

Explicación de hechos {Teoría, Datos} ⊢ Enunciado factual singular [9.2.]
Explicación de leyes {Teoría, Supuesto(s) subsidiario(s), Datos} ⊢ Ley [9.3]

El diagrama que ilustra la deducción de la ley de Galileo puede continuarse hacia arriba unos cuantos pasos más, a lo largo de la rama izquierda: la ley general newtoniana del movimiento puede deducirse de las ecuaciones de Lagrange, las cuales a su vez pueden derivarse del principio de acción estacionaria de Hamilton, deducible a su vez del principio de los desplazamientos virtuales de D'Alembert. (La deducción de la ley de Galileo a partir de la teoría general de la relatividad sigue un esquema distinto: el primer elemento del árbol de la deducción es en este caso una sola ecuación, especie de síntesis de la ley del movimiento y la ley de la fuerza. Pero también esta deducción necesita supuestos subsidiarios, ramas menores.)

El anterior esquema aclara la estructura de las *cuestiones científicas ascendentes.* Si nos preguntamos '¿Por qué este cuerpo concreto cae tantos metros en tantos segundos?' quedamos remitidos a la ley de Galileo, que es de bajo nivel. Si luego preguntamos por qué se cumple esa ley particular, quedamos remitidos a una entera teoría que contiene la ley newtoniana de la gravedad y la segunda ley del movimiento del mismo Newton. Y si preguntamos por qué se cumplen estas leyes se nos ofrecerán otras leyes de nivel más alto (generalmente llamadas *principios*). Esas leyes de nivel más alto se justifican porque dan un rico conjunto de leyes de nivel bajo, y éstas, a su vez, se justifican por su concordancia con los datos empíricos y por su compatibilidad con las restantes fórmulas de la teoría dada. El cuestionar científico ascendente se detiene al llegar a los supuestos de nivel más alto hechos hasta el momento: es una regresión finita con punto de partida variable.

Lo que caracteriza todo paso de una cadena explicativa, sea del tipo [9.2] o del tipo [9.3] es la *subsunción* de fórmulas bajo otras más fuertes. En la sección siguiente discutiremos si esto es todo en materia de explicación científica.

Problemas

9.3.1. Dar una explicación científica de un hecho de la vida cotidiana.

9.3.2. Un geólogo, al observar estrías horizontales en las murallas de un tajo o cañón, puede adelantar las siguientes hipótesis: (*i*) "En el pasado hubo un periodo durante el cual estuvieron congeladas todas las masas de agua de esta región; en particular lo estuvo el agua que se encontraba en el cañón (y era, por tanto, un glaciar)". (*ii*) "A partir de una cierta masa, la presión ejercida por el glaciar sobre el fondo del cañón fue tal que las capas del mismo en contacto con la roca empezaron a fundirse y el glaciar comenzó a deslizarse cañón abajo". (*iii*) "Durante ese deslizamiento, el glaciar dejó las estrías que aún son visibles en las rocas". Mostrar el esquema lógico de esa explicación y examinar la naturaleza de las hipótesis supuestas en ella.

9.3.3. Examinar la explicación científica del arco iris (o de cualquier otro fenómeno natural bien estudiado). Indicar las leyes básicas y los niveles supuestos por esa explicación. *Problema en lugar de ése*: Comparar la concepción contemporánea de la explicación con la que formula Aristóteles, a base de las cuatro causas, en el libro A de su Metafísica.

9.3.4. ¿Cómo pueden los peces gelatinosos tener una forma definida si constan de un 99% de

agua? Recordar que, desde el punto de vista físico, el protoplasma es un gel (algo como una gelatina). Mostrar qué modelo tiene la explicación.

9.3.5. Las leyes elementales del péndulo ideal, como "El periodo de oscilación es independiente de la amplitud de oscilación", se siguen de la sencilla ley "$T = 2\pi \sqrt{L/g}$". A su vez, esta ley se sigue de la ley newtoniana del movimiento, con la hipótesis simplificadora de que las amplitudes sean pequeñas (hasta 20°, digamos). Mostrar qué esquema de deducción es ése.

9.3.6. Llevar a cabo un análisis lógico y epistemológico de la deducción de alguna ley científica. *Problema en lugar de ése*: Presentar un caso de explicación *reductiva* (como el de la nariz que sangra) y otro de explicación *no reductiva* (como el de la sed).

9.3.7. Examinar las siguientes explicaciones de la generalización histórica según la cual la cuna de toda civilización se encontraba en un medio árido o semiárido. (*i*) "Para conseguir algo hacen falta los medios materiales necesarios. Los lugares de origen de la civilización se encontraban en tierra blanda, fácil de labrar y de irrigar. Los factores geográficos eran más fáciles de controlar en ese ambiente que en las selvas tropicales, e incluso que en el llano". (*ii*) "Todo logro es una respuesta a algún reto: no hay progreso sin dificultades. Los ambientes áridos o semiáridos en que se encontraron las cunas de la civilización constituían un reto que estimuló la laboriosidad y la inteligencia" (A. Toynbee). ¿Son esas explicaciones incompatibles? ¿Indican las condiciones necesarias y suficientes para el nacimiento de la civilización? ¿Qué dan por supuesto?

9.3.8. La explicación científica se llama muy a menudo *causal*. Este nombre estaría justificado si las generalizaciones o las informaciones utilizadas se refirieran a causas. ¿Ocurre eso en toda explicación científica, o con la mayoría de ellas al menos? Cf. M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 11.

9.3.9. En la sucesión de preguntas científicas llega un momento en el cual hay que aceptar, por el momento al menos, un conjunto de postulados y otro de datos. ¿Prueba eso que los postulados y los datos científicos no son gran cosa más que dogmas religiosos?

9.3.10. La filosofía de una teoría científica dada puede considerarse en cierto sentido como una explicación de esa teoría. ¿En qué sentido? ¿En el sentido de que la teoría dada sea lógicamente deducible de principios filosóficos, a la manera de Descartes?

9.4. EXPLICACIÓN MECANÍSMICA

Supongamos que alguien pregunta '¿Por qué me mintió *c*?', y que obtiene la respuesta 'Porque *c* miente a todo el mundo'. Sin duda es ésa una explicación pertinente y con sentido, pues consiste en subsumir el explicandum "*c* mintió a *d*" bajo la generalización "para todo *x*, si *x* es una persona diferente de *c*, entonces *c* miente a *x*". La subsunción se hace a través de la información de que *d* es una persona (premisa circunstancial). Pero la respuesta '*c* le mintió a usted porque *c* miente a todo el mundo' es idéntica con '*c* le mintió a usted porque *c* es un mentiroso', de acuerdo con lo que puede ser una definición de 'mentiroso'. Y éste es un caso de nominación, o sea, de pseudoexplicación (cf. sec. 9.2).

La explicación científica en general puede ser objeto de una crítica análoga, diciendo que aunque *da cuenta* del explanandum, no lo explica en realidad, salvo en el sentido pickwickiano de subsumir particularidades bajo generalidades. Y, efectivamente, si preguntamos '¿Por qué aumenta la resistencia puesta por la bomba de la bicicleta a medida que empujamos el pistón hacia el fondo?', podemos recibir la respuesta de que la bomba

de aire "obedece" aproximadamente a la ley de Boyle. Igual podrían habernos dicho que la bomba se comporta así porque es una boyleana. También en este caso se nos ofrece una subsunción lógica del explicandum bajo una generalización, pero quedamos a oscuras por lo que hace al modo de acción o mecanismo de la interacción del pistón con el aire. La explicación subsuntiva, o sea, la subsunción de una singularidad bajo una generalización, huele a *explicatio obscurum per obscurius*, y no nos calma la sed de intelección. Esto no quiere decir que la ciencia sea incapaz de suministrar comprensión, ni que tengamos por ello que quedarnos en la oscuridad o fiarnos de alguna otra cosa –tal vez la intuición irracional– para conseguir una visión del "funcionamiento interno de las cosas". Lejos de eso, la ciencia es el único modo de conocimiento capaz de suministrar la explicación más profunda que echamos a faltar; pero esa explicación no es del tipo subsuntivo.

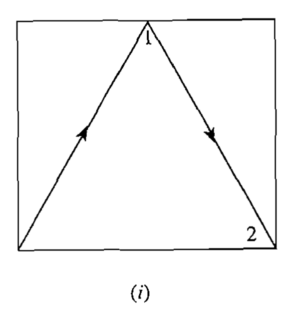
Toda teoría científica suministra una explicación subsuntiva de un conjunto de datos, pero no toda teoría científica puede suministrar lo que en la ciencia se llama frecuentemente una *interpretación* de tales datos. Una teoría fenomenológica, que no represente ningún "mecanismo", suministrará explicaciones subsuntivas; pero sólo las teorías representacionales, las teorías que intenten representar el *modus operandi* de sus referentes, puede dar explicaciones más profundas. Las llamaremos *explicaciones mecanísmicas*. Lo que los científicos suelen entender por 'explicación' no es la mera explicación subsuntiva, sino la explicación mecanísmica, como es la de la aceleración constante de un cuerpo en caída libre a base de un campo gravitatorio constante, o como la explicación de los olores de las cosas a base de la forma de sus moléculas y el modo como esas moléculas acceden a los receptores olfativos. En una fórmula práctica podemos resumir: del mismo modo que

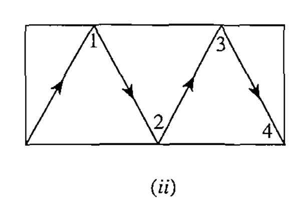
Teoría representacional = Sistematización deductiva + Mecanismo,

así también

Explicación mecanísmica = Subsunción + Modus operandi.

Volvamos a la explicación del hecho de que la presión del gas se duplique al dividir por la mitad su volumen. El decir que ese hecho satisface la ley (fenomenológica) de Boyle, aunque es una afirmación correcta, no se considerará en la ciencia una explicación satisfactoria, sino sólo como una formulación y sistematización del hecho. Una explicación propiamente dicha, una explicación mecanísmica, contendrá la teoría molecular o cinética de los gases, la cual contiene a su vez las siguientes hipótesis básicas (axiomas) que van mucho más allá de las leyes de Boyle: "Un gas consiste en una colección de partículas (moléculas) de un tamaño despreciable en comparación con sus distancias recíprocas"; y "Las moléculas de gas se mueven constantemente al azar". Partiendo de esos supuestos pueden derivarse las siguientes consecuencias (teoremas). Primero, si se interpone un obstáculo en la trayectoria de las moléculas, resultarán colisiones; en particular, las moléculas encerradas en un recipiente chocarán con sus tabiques y ejercerán una fuerza sobre éstos; la fuerza específica resultante (fuerza/área) es la presión del gas. Segundo: si disminuye el espacio disponible, el número de choques por unidad de área y tiempo aumentará; en particular, si el volumen se disminuye hasta la mitad, el número de choques se multiplicará por dos y consiguientemente la presión experimentará el mismo cambio (cf. fig. 9.5).





(*i*) (*ii*)

FIGURA 9.5. La presión de un gas se multiplica por dos cuando su volumen se reduce a la mitad, porque cuando se divide así el espacio disponible para el movimiento de las moléculas, se multiplica por dos el número de choques de las moléculas con los tabiques. (*i*) Volumen V: 2 choques por unidad de tiempo; (*ii*) Volumen $V/2$: 4 choques por unidad de tiempo.

La diferencia entre esta explicación mecanísmica y la correspondiente explicación subsuntiva se debe a la *interpretación* de una de las variables relevantes –como la presión– según conceptos referentes al nivel microscópico, en vez de tomarla como rasgo observado y sin analizar. Esta interpretación o análisis hipotético de una variable externa (observable) a base de una construcción hipotética ("choques moleculares") nos permite entender por qué un gas ejerce alguna presión sobre los tabiques del recipiente que lo contiene, hecho que, en la exposición fenomenológica, hay que aceptar sin más. Esta ventaja psicológica de la explicación mecanísmica no se sigue de ningún especial rasgo lógico de este tipo de explicación: el esquema lógico de la explicación mecanísmica es el mismo que el de la subsuntiva. Lo que distingue la explicación mecanísmica de la subsuntiva es que la primera se consigue con la ayuda de algunas teorías acerca del mecanismo o *modus operandi* de los hechos. Dicho brevemente el esquema de la explicación mecanísmica es:

$$\{\textit{Teoría mecanísmica, Información}\} \vdash \text{Explanandum} \qquad [9.4]$$

En la sección 8.5 se dijo que las teorías representacionales (no fenomenológicas) son preferibles a las fenomenológicas porque son lógicamente más fuertes, semánticamente más ricas (tienen mayor contenido) y metodológicamente más rigurosas o exigentes. Añadiremos ahora que las teorías representacionales o "de mecanismo" suministran *explicaciones más profundas*. La razón de esto aparecerá al examinar un par de casos.

La deceleración de un cuerpo sólido que se mueve en un líquido puede explicarse a base de la viscosidad del líquido (o, lo que es lo mismo, a base de un coeficiente de resistencia al movimiento), o por la transferencia del momento de las moléculas del líquido a las del sólido. Ambas explicaciones son correctas, pero no son equivalentes: la última, que es mecanísmica, es más profunda porque alcanza un *nivel más profundo* de la realidad. La explicación a base del coeficiente de resistencia es poco más que una descrip-

ción exacta, mientras que la explicación molecular suministra el *modus operandi*; además, y en principio al menos, el coeficiente de resistencia puede deducirse de la teoría molecular.

Consideremos el envenenamiento, como segundo ejemplo. "Aquel hombre murió porque se tomó una dosis excesiva de estricnina": ésa es una explicación subsuntiva que apela a una generalización del tipo "La estricnina a altas dosis es letal". (En este punto hay que tener cuidado y no definir "dosis alta" mediante "dosis mortal".) Podemos además recurrir a una relación precisa dosis-efecto, o sea, a una ley fenomenológica cuantitativa (del tipo *input-output*), consiguiendo así una explicación exacta. Pero mientras sigamos ignorando el mecanismo de la acción de la droga nuestro conocimiento no aumentará mucho. La necesidad de conseguir una explicación mecanísmica llevará, en el primer estadio, a averiguar que la estricnina inhibe los centros respiratorios del cerebro; la segunda tarea será averiguar los procesos bioquímicos causantes de esa parálisis; y esta segunda tarea es probablemente de las que se llevan a cabo gradualmente y no se terminan nunca del todo. Dicho sea de paso, si nos contentáramos con las explicaciones subsuntivas no rebasaríamos nunca la formulación de la relación dosis-efecto. No sólo la ciencia pura, sino también la tecnología (que en este caso quiere decir la farmacología y la medicina) se interesan por descubrir el mecanismo de la acción de la droga, aunque no sea más que para fabricar antídotos.

Nuestro tercer y último ejemplo procede de la historia económica, pues hay que evitar la impresión de que la explicación mecanísmica requiera siempre un mecanismo físico. Supongamos que el explanandum sea la tendencia media a la subida de los precios en Europa durante la segunda mitad del siglo XVI, fenómeno que terminó con toda una era de estabilidad en los precios. La subida del precio del trigo durante ese periodo podría explicarse subsuntivamente por referencia a la tendencia general, pero seguramente no se considerará que eso sea una explicación satisfactoria. Hay que tomar en cuenta el mecanismo que responde de la tendencia misma. Se han propuesto por lo menos dos hipótesis, que no son incompatibles, para explicar toda la tendencia inflacionista de la época: una es la introducción de grandes cantidades de oro y plata procedentes de la América española; la otra es la reconstrucción de los países arrasados por las guerras de religión y las guerras campesinas. Cada una de esas hipótesis, junto con la teoría económica, suministra una explicación de la subida de los precios, y cada una de ellas alude a algo que está a un nivel más profundo que el referente del explanandum.

La razón por la cual la explicación mecanísmica es más profunda que la subsuntiva es que la primera supone un *análisis más profundo*, el cual contiene a menudo referencias a niveles de la realidad distintos (y generalmente más profundos) del nivel al que pertenece el explanandum. En cambio, la explicación subsuntiva no supone más que relaciones entre entidades pertenecientes todas al mismo nivel. Así, por ejemplo, la teoría newtoniana de la gravitación explicará subsuntivamente la interacción gravitatoria entre dos cuerpos cualesquiera sin referirse más que a las masas de los cuerpos y a sus distancias recíprocas; por esta razón Newton sostuvo desconocer "la causa de la gravedad". Descartes, en cambio, explicaría la interacción gravitatoria a base de un sutil éter fluido, Le Sage a base de partículas invisibles que chocan con los cuerpos macroscópicos, y la teoría clásica del campo gravitatorio apelará a este concepto (que es, en fin de cuentas, una sustancia sutil)

como medio por el cual obran los cuerpos: todas éstas son teorías representacionales, que suministran explicaciones mecanísmicas de la interacción gravitatoria, y aun intuibles, en este caso. (La moderna teoría de la gravitación utiliza, además del concepto de campo, las invisibles tensiones internas a los cuerpos en interacción, particularmente para explicar la repulsión gravitatoria, llamada incorrectamente antigravedad.) La explicación mecanísmica explica las propiedades más visibles de los sistemas reales mediante hipótesis acerca de la naturaleza, la composición, la estructura y el comportamiento de sus constituyentes de bajo nivel. Un tal *análisis atomístico*, que subyace a la explicación mecanísmica, es el cumplimiento del programa de Demócrito, o sea, de la estrategia y el desideratum de explicar lo observable a base de lo inobservable, el dato a base de la hipótesis trascendente.

Cuanto más profunda sea una teoría, tanto más profundas son las explicaciones que puede suministrar. Del mismo modo que hay grados de profundidad de teorías (cf. sec. 8.5), así también hay grados de *profundidad de explicación*. La profundidad de explicación conseguida con una teoría semifenomenológica estará a mitad del camino entre el mínimo alcanzado con una teoría fenomenológica y el máximo (provisional) alcanzado con una teoría representacional. Esta profundidad máxima alcanzable con una teoría dada no tiene por qué ser un máximo absoluto: lo más probable es que sea provisional, porque toda teoría representacional es en principio subsumible bajo una teoría más rica que penetre en más finos detalles del mecanismo. El que en un determinado momento no pueda imaginarse para un cierto campo una tal teoría más rica no implica que no pueda haber ese análisis más profundo que descubre, por así decirlo, los átomos que hay dentro de los átomos.

En cualquier caso, lo más corriente es encontrar un grado intermedio de explicación suministrado por alguna teoría semifenomenológica, a mitad de camino entre la explicación superficial (exposición, *account*) dada por la teoría fenomenológica y la explicación profunda (mecanísmica) propia de la teoría representacional. Tomemos, por ejemplo, la doctrina de la difusión de las culturas. La hipótesis central de esa opinión antropológica e histórica es que todo rasgo o toda función culturales (por ejemplo, la técnica de irrigación, el sacerdocio, el sistema numérico) tiene un origen único (monogenismo) y se difunde a partir de su centro originario. Esta opinión suministra sin duda un mecanismo del cambio cultural, a saber, el mecanismo invención-adopción; es, además, un hecho que algunos cambios culturales conocidos se deben a importación. Pero esta teoría del cambio cultural, tal vez la más simple existente, deja sin explicar por qué hay tan gran variedad de niveles culturales, por qué algunas culturas son impermeables a ciertas corrientes culturales, mientras que otras las asimilan fácilmente, por qué algunos rasgos aparecen simultáneamente –o casi– en regiones muy distantes y carentes de relación, etc. El difusionismo, pese a no ser una teoría fenomenológica, no es del todo representacional, porque resulta demasiado simplista y superficial; maneja sobre todo caracteres culturales secundarios, no rasgos básicos, y por eso no indica los mecanismos básicos económico-sociales y psicosociales que pueden causar la aceptación o el rechazo de algún nuevo rasgo procedente de fuera, ni los mecanismos implicados en la invención independiente.

Ahora podemos ya plantear el aspecto psicológico de la explicación, esto es, la *comprensión*. En la vida ordinaria decimos que se ha entendido algo si se ha reducido a con-

ceptos familiares. Así, por ejemplo, decimos que entendemos la emisión de un fotón por un átomo en cuanto podemos refigurarlo como el disparo de una bala, o sea, por analogía con una experiencia familiar; análogamente sentimos que entendemos el dominio de una nación sobre otra porque nosotros mismos somos relata de la relación de dominio. Pero en ninguno de esos casos hemos establecido una auténtica explicación mediante esa mera alusión a analogías familiares; o sea: la explicación estricta no es necesaria para la comprensión. "Comprender" es un concepto psicológico, no un concepto metacientífico: es esencialmente relativo al sujeto. Una explicación será satisfactoria para un individuo en un momento dado si y sólo si ese individuo siente en ese momento que la explicación dada *satisface su propio esquema de las cosas*, esquema en gran parte compuesto por imágenes e inevitablemente cargado de prejuicios y restos de teorías ya muertas. La explicación conseguida de este modo es una *trivialización*, una reducción de lo no experienciado, lo no familiar y sorprendente, a lo experienciado, familiar y, por tanto tranquilizador, pero consiguientemente y al mismo tiempo limitado a la experiencia del sujeto. Éste es el tipo de explicación que buscamos en la vida cotidiana y en la enseñanza de la ciencia cuando dibujamos diagramas de ideas abstractas y modelos visuales de entidades invisibles.

El objetivo principal de la explicación científica es ampliar, profundizar y racionalizar el conocimiento ordinario. Lo que de ningún modo tiene lugar en ese proceso es una reducción a ideas populares y familiares. La explicación científica no hace concesiones a la comprensión, en el sentido de reducir lo no familiar a lo familiar, lo profundo a lo superficial o lo nuevo a lo viejo. Antes al contrario, la ciencia inventa nuevas construcciones trasempíricas de alto nivel para explicar fenómenos familiares. Así, la química explicará por qué el carbono tiene tan gran capacidad de combinarse con otros elementos, pero es incapaz de "hacernos comprender" por qué tiene que ser así. En resolución: la intelección científica no garantiza la comprensión en el sentido ordinario de esta palabra. Sólo el especialista familiarizado con las ideas técnicas supuestas en la explicación científica, sólo el especialista que se las ha "interiorizado", puede pretender que ha conseguido una comprensión intuitiva de algunos (no todos) hechos e ideas. Y, recíprocamente, puede conseguirse comprensión intuitiva sin genuina explicación. Así, por ejemplo, podemos "entender" el comportamiento de otras personas en el sentido de que, lejos de sorprendernos, nos parezca "natural", "obvio", aunque ignoremos el mecanismo de esa conducta. Lo que pedimos a la ciencia es *inteligibilidad*, no comprensión intuitiva. Y para obtener inteligibilidad basta con asegurar la explicación subsuntiva, la cual puede suponer ideas abstractas y complejas.

Pero hay *grados de inteligibilidad.* Una teoría representacional, aunque sea (epistemológicamente) abstracta, suministrará un grado de inteligibilidad mayor que una teoría fenomenológica, especialmente si contiene un modelo intuible. Sin embargo, desde comienzos de siglo se ha puesto de moda el condenar las teorías representacionales en física, y muy particularmente las que permiten construir modelos gráficos o intuibles en general, como el modelo atómico planetario de Bohr. Por eso muchos científicos se han convencido de que su sola tarea consiste en elaborar teorías fenomenológicas capaces de resumir las observaciones y de predecir nuevos posibles resultados empíricos, sin preocuparse por una explicación interpretativa de lo que ocurre entre las observaciones o por detrás de lo observado. Si se les pide que expliquen un hecho, se precipitarán a calcular

ciertas variables a base de otras; ofrecerán explicaciones subsuntivas y si se insiste en pedirles una explicación más profunda a base de conceptos como estructura, interacción o movimientos no visibles por el momento rechazarán la cuestión por metafísica. Pero más de una gran teoría contemporánea ha supuesto algún mecanismo, y a medida que las cajas van haciéndose menos negras se consigue una intelección más profunda de su interior y de su funcionamiento interno. ¿Por qué rechazar toda comprensión intuitiva que pueda suministrar la ciencia legítimamente? En particular, ¿por qué rechazar los modelos gráficos o semigráficos mientras resulten ser aproximadamente verdaderos y no meros trucos didácticos? ¿Por qué vamos, en suma, a rechazar la comprensión intuitiva que llega algunas veces como fruto de una teoría profunda y compleja? ¿Sólo por rendir homenaje a calculadoras y a observadores sin pensamiento, así como a filósofos oscurantistas a quienes gusta concebir el universo como una caja negra? Lo único que hay que rechazar son las teorías representacionales o los modelos intuibles que sean incontrastables o patentemente falsos, así como las explicaciones a que dan lugar, naturalmente.

En suma: siempre que sea posible debemos esforzarnos por conseguir una explicación más profunda, que es la explicación mecanísmica, ya que ésta es el fruto de la teoría más profunda. Una explicación profunda suministrará siempre una intelección más profunda que la correspondiente explicación subsuntiva, y a veces puede producir incluso una comprensión intuitiva. Pero obsérvese que esta comprensión intuitiva, en el caso de que sea alcanzable, no podrá deberse ni a un abandono de la razón ni a una simplificación excesiva, sino que nacerá de una argumentación más racional, más compleja y que penetre más profundamente en la naturaleza de las cosas. Esa complejidad y esa profundidad culminan en la explicación mecanísmica de leyes y teorías, cosa a la que vamos a atender ahora.

Problemas

9.4.1. C. Bernard explicaba la toxicidad del óxido de carbono como resultado de su combinación con la hemoglobina, la cual, después de esa combinación, no puede ya transportar oxígeno. Analizar este caso desde el punto de vista de la distinción entre aplicación subsuntiva y explicación mecanísmica.

9.4.2. Según una descripción de la explicación que está muy difundida y es influyente, explicar consistiría siempre en hacer familiar lo que no lo es, en identificar lo nuevo con lo viejo, porque la identidad sería el núcleo de la razón. Cf., por ejemplo, E. Meyerson, *De l'explication dans les sciences*, París, Payot, 1921. Examinar esa doctrina.

9.4.3. ¿Cuál es la posición del holismo (la metafísica propia del vitalismo, el gestaltismo y el fenomenalismo) por lo que hace a los análisis atomísticos que requiere el programa democríteo?

9.4.4. La psicología asociacionista no indica ningún mecanismo por el cual dos o más estímulos se asocien en un animal. ¿Es deseable y posible una explicación interpretativa de la asociación? Si lo es, ¿de qué clase? Si no lo es, ¿por qué?

9.4.5. Examinar la tesis de que la personalidad humana no puede entenderse sino intuitivamente y, por lo tanto, la psicología humana tiene que ser una disciplina "comprensiva" (*verstehende Wissenschaft*) y no una ciencia explicativa (*erklärende Wissenschaft*). Averiguar cuáles son los hallazgos de esta escuela.

9.4.6. ¿Qué es lo que distingue la comprensión especializada conseguida gracias a la familiaridad con teorías profundas (representacionales) de la comprensión intuitiva *(Verstehen)* exigida por ciertas escuelas en la psicología y la sociología?

9.4.7. A menudo se dice que una explicación no es necesaria más que cuando se presenta un conflicto entre un hecho nuevo y sorprendente y una convicción anterior: por ejemplo, cuando se observa que una persona ordinariamente pacífica actúa agresiva o audazmente. ¿Es ése también el caso de la explicación científica?

9.4.8. Cuando un lingüista afirma que una gramática dada "explica" los datos de una lengua ¿usa la noción de explicación interpretativa o la de subsunción? Y ¿qué noción de explicación emplean los psicolingüistas y sociolingüistas?

9.4.9. Estudiar la relevancia –favorable, desfavorable o nula– de las varias clases de simplicidad por lo que hace a la explicación. En particular, averiguar si debe preferirse siempre la explicación más simple. Pero antes de realizar esa tarea hay que aclarar qué clase(s) de simplicidad (formal, semántica, epistemológica, pragmática) se está teniendo presente. Si sólo se trata de simplicidad formal, precisar si se refiere a las premisas del explicans, a la derivación o a ambas cosas. *Problema en lugar de ése*: La referencia a otro nivel, ¿es necesaria o sólo suficiente para producir una explicación interpretativa?

9.4.10. Existen en lo esencial dos "explicaciones" del supuesto fenómeno de la transmisión del pensamiento. La una consiste en el supuesto de una acción directa de mente a mente sin medio físico ni mecanismo mediador. La otra es la hipótesis de la "emisión" o del "campo", que supone una sustancia u onda de alguna clase aún por especificar. La primera es la doctrina ortodoxa; la mayoría de los parapsicólogos rechazan la segunda. ¿Por qué? ¿Debemos preferir la segunda hipótesis por el hecho de ser representacional? *Problema en lugar de ése*: Hay en lo esencial dos clases de teoría electromagnética: la de Ampère (acción directa entre las partículas) y la de Faraday (acción por contacto a través de un campo). Examinar las clases de explicación que suministran, averiguar si tienen el mismo alcance y si las teorías de la acción a distancia son en realidad independientes de las teorías del campo.

9.5. *EXPLICACIÓN MECANÍSMICA Y REDUCCIÓN A LEYES

Lo que hemos dicho hasta ahora acerca de las explicaciones subsuntiva y mecanísmica de los hechos puede ampliarse, *mutatis mutandis*, a la explicación de enunciados legaliformes y sistemas de ellos, o sea, teorías. La derivación de una ley a partir de un conjunto de leyes y algunos supuestos subsidiarios (cf. sec. 9.3) puede considerarse como una explicación subsuntiva de la ley dada. Si esa deducción no hace ninguna referencia a un nivel real más bajo, entonces es un proceso puramente lógico que no explica cómo se produjo la estructura en cuestión. Dicho de otro modo: la explicación subsuntiva de una fórmula legaliforme no da razón del *origen del esquema* o *estructura nómica* al que se supone refiere la fórmula. En cambio, la explicación mecanísmica de las leyes da razón del nacimiento de tales estructuras.

Podría pensarse que la tarea de explicar el origen de estructuras nómicas no tiene realización posible, o incluso que "carece de sentido", que las leyes son lo que son y no hay más que decir. Pero toda inteligencia crítica debe desconfiar de las ultimidades ontológicas que se le ofrezcan, y puede justificar del modo siguiente la búsqueda de ex-

plicación mecanísmica de las leyes científicas. Si las leyes objetivas son esquemas de los hechos, si no son decretos caprichosamente dictados sobre la realidad, sino el armazón de ésta, entonces tiene sentido preguntarse cómo se ha producido una determinada ley objetiva, por ejemplo, un determinado esquema de composición química. Esto es parte de la amplia cuestión que pregunta cómo ha llegado el mundo a ser lo que es ahora. (Cuestión que no tiene nada que ver con la pregunta mal planteada '¿Por qué hay un mundo?') Dicho brevemente: una vez descubierta una ley, parece legítimo buscar el *mecanismo* de su producción, si lo hay. Sería tan dogmático negar a priori que pueda haber tal producción u origen (por lo menos en el caso de leyes suprafísicas) como mantener que todas las leyes, incluyendo las físicas, deben ser de tipo mecanísmico.

Ahora bien: la producción puede partir de un nivel coexistente (inferior o superior) o de un estadio previo de un proceso. Consiguientemente, y por lo que hace a su alcance ontológico, la explicación mecanísmica de leyes puede ser de una de las clases siguientes: (*i*) basada en diferentes niveles coexistentes, o (*ii*) histórica. Se tiene una explicación de la primera clase cuando se muestra que una ley nace de estructuras que caracterizan un nivel *coexistente* inferior o superior, como es, por ejemplo, el caso cuando se explican leyes de la tensión social a base del conflicto de objetos económicos y culturales, o cuando se explican esquemas de disminución de la tensión social a base de la aceptación de nuevos sistemas de hábitos e ideas. La explicación mecanísmica histórica consiste por su parte en trazar la *evolución de una ley*, mostrando cómo surgió en el curso del tiempo a partir de estructuras que caracterizaban estadios anteriores en un proceso evolutivo; así se hace al dar explicación histórica a esquemas de comportamiento social. Examinemos una tras otra esas dos clases de explicación mecanísmica.

La explicación más frecuente de las leyes es a base de niveles inferiores; tal es particularmente el caso de la explicación de macroleyes en función de microleyes. Han sido casos importantes de esta clase: (*i*) la explicación de las leyes de los rayos de luz a base de las leyes de la interferencia, o sea, la explicación de la óptica geométrica por la teoría ondulatoria de la luz; (*ii*) la explicación de algunas leyes de la termodinámica por la mecánica estadística de las moléculas; (*iii*) la explicación de las leyes de la combinación química a base de las leyes de la física atómica; (*iv*) la explicación de las leyes de la herencia a base de las leyes que "gobiernan" el comportamiento de los genes, y el de estos últimos, a su vez, a base de las leyes que "rigen" el comportamiento de las moléculas de ADN. En todos esos casos el comportamiento según leyes de un todo (rayo de luz, sistema termodinámico, molécula, organismo) o, por mejor decir, de algunos de sus aspectos, se explica como resultado del comportamiento según leyes de todas sus partes o algunas de ellas. Dicho brevemente: se muestra que las macroestructuras nacen de microestructuras.

Una clase muy moderna, y también muy importante, de explicación de leyes con dos niveles coexistentes es la *explicación estadística*. Se trata en sustancia de la explicación de una regularidad propia de un determinado nivel como resultado del juego al azar de un gran número de entidades de un nivel inferior, como ocurre cuando se explica la imantación de una pieza de hierro como resultado macroscópico de la fuerza ejercida por un campo externo sobre los pequeños imanes, inicialmente orientados al azar, que constituyen el cuerpo macroscópico. La explicación estadística requiere el *supuesto del azar* (que resulta de la independencia o casi-independencia recíproca de los componentes in-

dividuales) y el conocimiento de las leyes *no-estadísticas* que se refieren a los componentes individuales. Dicho de otro modo: la explicación estadística consiste en la derivación de leyes colectivas a partir de las leyes individuales que "rigen" el comportamiento de los miembros de un agregado estadístico.

Las leyes de los miembros del agregado estadístico pueden ser a su vez no probabilistas ("deterministas") o probabilistas ("indeterministas" o estocásticas), pero no pueden ser estadísticas, porque no hay estadística sin agregado estadístico. Ejemplo de explicación de leyes estadísticas a base de leyes individuales no probabilísticas es la derivación de algunas leyes termodinámicas a base de las leyes de la mecánica clásica aplicadas a un gran número de moléculas prácticamente independientes. Ilustración de la explicación de leyes estadísticas a base de leyes individuales probabilísticas son las leyes de cifras medias derivadas sobre la base de la mecánica cuántica; entre esas leyes derivadas encontramos la segunda ley newtoniana del movimiento. (Hay que precisar que no toda ley de la mecánica cuántica es probabilística o estocástica; así, por ejemplo, las fórmulas de los niveles de energía de los sistemas estables no son probabilísticas. Las leyes probabilísticas de la mecánica cuántica toman una *interpretación* estadística cuando se aplican a un conjunto de sistemas análogos o a un conjunto de observaciones análogas sobre un solo sistema. Lo interesante es comprobar que Probabilístico $\neq$ Estadístico.)

En cualquier caso, una explicación estadística consiste en mostrar cómo se producen regularidades colectivas a partir del comportamiento individual según leyes a un nivel diferente, ya sean "determinísticas" o estocásticas las estructuras de ese comportamiento individual. Dicho de otro modo: una explicación estadística consiste en descubrir cómo se producen estructuras colectivas (estadísticas) por el juego de numerosos individuos de una determinada clase (moléculas, personas, etc.). Tales estructuras surgen cuando se neutralizan unas a otras ciertas variaciones individuales para constituir *promedios estables*, de tal modo que (en el macronivel) pueden despreciarse las primeras y atenderse sólo a los últimos. Brevemente: las leyes estadísticas se originan cuando hay azar en algún respecto, por ejemplo, en las trayectorias individuales de las moléculas de un gas, o en la distribución de los genes en la fecundación de un huevo.

Supongamos, para ilustrar esta materia, que nuestra generalización estadística (el explanandum) sea "Aproximadamente la mitad de los recién nacidos son niñas". Podría obtenerse una explicación estadística simplificada de esa ley a lo largo de la siguiente línea de pensamiento:

A1 Toda célula somática de la mujer contiene un par de cromosomas sexuales idénticos, XX. (Ley individual que vincula tres niveles: el del organismo, el celular y el cromosómico.)

A2 Toda célula somática del hombre contiene dos cromosomas sexuales diferentes: XY. (Lo mismo que la ley anterior.)

A3 Toda célula sexual humana (gameto) resulta de la división de una célula somática en dos partes, cada una con un cromosoma sexual. (Ley individual que enlaza los niveles celular y cromosómico.)

A4 La unión de un gameto masculino y uno femenino en un huevo (zigoto) es independiente de su contenido cromosómico, o sea, que es genéticamente al azar. (Hipótesis de la combinación genética al azar.)

T1 (de A1 y A3). Toda célula sexual (gameto) femenina contiene un cromosoma X.

T2 (de A2 y A3). De las dos células sexuales (gametos) masculinas que resultan de la división de una célula somática, una contiene un cromosoma X y la otra un cromosoma Y.

T3 (de A4, T1, T2 y la teoría elemental de la probabilidad). La probabilidad de un huevo XX es la misma que la probabilidad de un huevo XY, e igual a 1/2 (cf. fig. 9.6).

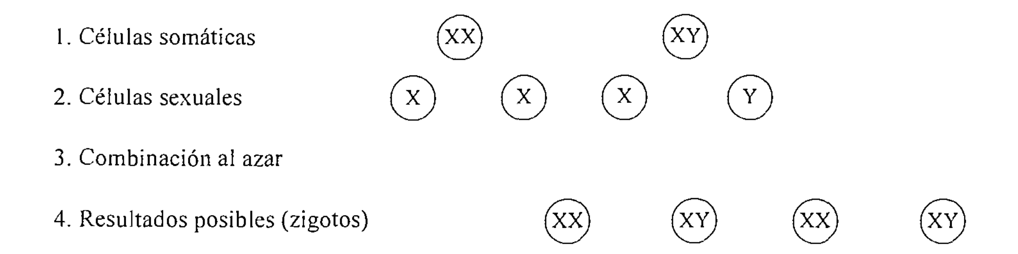


FIGURA 9.6. Explicación estadística de la composición de una población humana (mitad hombres, mitad mujeres).

T4 (de T3 y el teorema de Bernoulli sobre los grandes números). Aproximadamente la mitad de los huevos fecundados producidos por una gran población es del tipo XX (femenino), y la otra mitad del tipo XY (masculino).

Insistimos en que A1 y A2 son leyes de *tres niveles* y referentes a individuos; A3 es una ley de *dos niveles* referente también a individuos; y A4 es una ley de dos niveles relativa a la construcción de un agregado de microentidades. T1, T2 y T3 son leyes individuales inter-nivel; T1 y T2 son no-probabilistas, T3 es probabilista. De los cuatro axiomas sólo A4 contiene el concepto de azar, que permite aplicar la teoría matemática de la probabilidad. Por último, T4 es una ley estadística inter-nivel. La palabra 'aproximadamente' que se presenta en ella es típica de los enunciados de leyes estadísticas; significa que el porcentaje de huevos fecundados del tipo femenino no es exactamente 1/2, sino que oscila en torno de ese valor. Toda discrepancia respecto de ese valor será provisional; si se hallara un día una desviación sistemática y duradera respecto de la composición 1/2-1/2, habría que admitir la presencia de un mecanismo sobrepuesto a la combinación genética. En todo caso, T4 da prácticamente lo que queríamos. Para obtener el explicandum, que se refiere a niños recién nacidos, y no a zigotos, basta ya con introducir la ley embriológica "Todo individuo humano se desarrolla a partir de un huevo fecundado". Esto más T4, o sea, dos leyes inter-nivel, da nuestra generalización estadística, que es de un solo nivel.

La explicación estadística es, pues, una *explicación mecanísmica e internivel.* Es una clase de explicación de leyes, no una explicación de hechos individuales con la ayuda de leyes estadísticas. Hay que subrayar este extremo porque frecuentemente se encuentra la errada suposición filosófica de que cuando los científicos hablan de explicación estadística están pensando en la subsunción de una proposición universal bajo una generalización estadística, según el esquema:

Casi todo A es B
c es un A [9.5a]

---

c es casi ciertamente un B

o, acaso, de acuerdo con el esquema algo más refinado:

Una fracción f de los A son B
c es un A [9.5b]

---

la probabilidad de que c sea un B es igual a f

Ese esquema, llamado *silogismo estadístico*, es análogo al esquema de explicación "$\{G, C\} \vdash E$", pero no es propiamente una explicación, porque no es una argumentación deductiva válida. El supuesto explanandum no se sigue, en efecto, de las premisas indicadas. Ni puede seguirse, aunque no sea más que porque el explanandum es un enunciado teorético que contiene el concepto teorético de probabilidad, mientras que las premisas pseudoexplicativas, tal como se presentan, pueden perfectamente ser una generalización empírica ("Una fracción f de los A son B") y una proposición empírica singular ("c es un A"). El explanandum es un enunciado probabilístico, y los enunciados probabilísticos no están implicados más que por otros de la misma naturaleza.

Los esquemas [9.5] y [9.6] no son explicaciones; ni son tampoco "argumentaciones inductivas", porque no consisten en generalizaciones basadas en casos observados. Son esquemas de *inferencia estadística* y, más precisamente, [9.6] ejemplifica la inferencia siguiente:

Regla 1. Si un individuo pertenece a una cierta clase [la clase de referencia, A] que se solapa con otra clase [la clase atributo, B] en la medida f [o sea: la medida de A $\cap$ B respecto de A es igual a f], puede atribuirse a ese individuo la probabilidad f de pertenecer a la clase atributo.

Dicho de otro modo: si la frecuencia relativa observada de los B en una clase A es f, asígnese a todo miembro de A la probabilidad condicional $P(B \mid A) = f$. Esta regla de inferencia nos permite pasar de una *frecuencia observada* (que es una propiedad colectiva) a una *probabilidad hipotética* (que es una propiedad individual): la regla es, pues, un puente entre la observación y la teoría. Su dual, que nos permite predecir frecuencias observables a partir de probabilidades calculadas, es:

Regla 2. Si un individuo de la clase A tiene la probabilidad $P(B \mid A) = p$ de pertenecer también a la clase B, tómese p como estimación de la frecuencia observable f de su pertenencia a la intersección de A y B.

La Regla 2 salva el hiato entre las hipótesis estocásticas interpretadas y sus teorías, por un lado, y la contrastación estadística correspondiente por otro. Pero, al igual que en el caso de la Regla 1, lo que aquí tenemos es una *regla falible de inferencia no-deductiva*; no tenemos una explicación.

Lo que los científicos llaman *explicación estadística* de una ley es la explicación mecanísmica de una ley en términos de las pautas de conducta de los miembros de un agregado estadístico. Dicho de otro modo: la explicación estadística de una ley es una

argumentación que muestra que, lejos de ser fundamental, la ley en cuestión es *derivada* y, además, debe su existencia al juego casual de entidades individualmente determinadas. (Dicho sea de paso, siempre que es posible derivar una macroley a partir de microleyes es posible también calcular la probabilidad de cualquier desviación dada respecto del actual curso de la naturaleza; la deducción se hace a partir del comportamiento medio previsto por la macroley. Esa probabilidad puede entonces considerarse como medida del error de la macroley respecto de las correspondientes microleyes.)

Digamos ahora algo acerca de la explicación histórica de las leyes, o sea, la explicación del origen de ciertas pautas que caracterizaban estadios previos de un determinado proceso. Este tipo de interpretación es menos frecuente que la expretación inter-nivel, pero no tan insólito como a veces se cree. En realidad, el objetivo último del estudio de la evolución de cualquier cosa es descubrir la evolución de las estructuras nómicas. Así, por ejemplo, el estudio de la evolución del aprendizaje es esencialmente una investigación de la transformación de sus pautas, o sea, de la modificación de viejas estructuras y la producción de otras nuevas estructuras de aprendizaje. La ontogénesis de esas estructuras en el ser humano, desde la adaptación automática hasta el procedimiento por ensayo y error, y desde éste hasta el aprendizaje conceptual, es cosa conocida por todos los padres; menos familiar es el mecanismo de este desarrollo individual. Y aún menos conocida, aunque es objeto de activa investigación, la filogénesis de las estructuras de comportamiento. Parece obvio que este estudio tiene que acompañar al de la evolución biológica, especialmente porque el aprendizaje es un rasgo de la vida animal y una condición de la supervivencia. Es menos obvio, pero también verosímil, que la evolución del aprendizaje no pueda *reducirse* a la evolución biológica, porque sabemos que no todo gran progreso biológico ha redundado en un perfeccionamiento de las estructuras del aprendizaje. Así, por ejemplo, los anfibios y los reptiles no parecen tener una capacidad de aprendizaje superior a la de los peces; en cambio, aunque la anatomía del hombre difiere muy poco de la de los monos, parece justificado considerarnos equipados con una capacidad de aprendizaje (y de olvido) no sólo cuantitativa, sino también cualitativamente diferente de la de nuestros primos pobres.

Acabamos de indicar que la evolución de las pautas del aprendizaje no parece *reducible* a la evolución biológica. Y antes vimos, en la sección 9.3, que otras pautas, como la del sangrar de la nariz a gran altura, son en cambio reducibles; dejando aparte las consecuencias biológicas de ese sangrar la nariz, se trata básicamente de lo mismo que en el descargarse la pluma a esas alturas: el fenómeno no tiene en sí mismo nada peculiarmente biológico. En general, una *explicación reductiva* es una argumentación que muestra que un hecho (o una generalización) que pertenece aparentemente a un determinado nivel de la realidad (por ejemplo, al nivel de la vida) no es sino un hecho (o una generalización) perteneciente a otro nivel (por lo común inferior).

La reducción consiste, pues, en explicar *eliminativamente*, mostrando que son pura apariencia, las peculiaridades atribuidas a hechos o a generalidades que, a primera vista, se habían considerado exclusivas de un determinado nivel, pero que, contempladas más de cerca, resultan pertenecer a un nivel diferente. Así, por ejemplo, cuando damos razón del comportamiento animal a base de reflejos explicamos eliminativamente la inteligencia animal o, lo que es lo mismo, la reducimos a un sistema de automatismos: practica-

mos una *reducción a nivel inferior*. Y cuando argüimos que las calculadoras automáticas parecen inteligentes sólo porque las han planeado, construido y programado seres humanos de un modo inteligente, estamos explicando eliminativamente la inteligencia de los autómatas, pero practicando en este caso una *reducción a nivel superior.*

La clase de las ontologías mecanicistas puede considerarse como un conjunto de programas para la explicación reductiva de todo hecho a base de hechos pertenecientes al nivel físico y por medio de una reducción de propiedades y leyes. Las propiedades se reducirían por medio de definiciones explícitas de las propiedades de nivel alto a base de propiedades físicas, y las leyes se reducirían mediante la reducción de leyes no-físicas a partir de leyes físicas. La clase de las ontologías espiritualistas, por su parte, puede considerarse como el conjunto de los programas de explicación (o, más propiamente, oscurecimiento) reductiva al nivel más alto. Pero esta reducción no se hace por medio de una reducción cuidadosa y exacta de propiedades y de sus relaciones (leyes), sino de un modo global, grosero y confuso.

Un vistazo a la historia de la ciencia basta para convencer a cualquiera de que de los dos programas reductivistas extremos, el mecanicismo y el espiritualismo, el primero ha sido fecundo, mientras que el segundo ha sido estéril, cuando no destructivo, y no ha medrado más que al amparo de los fracasos del mecanicismo. Pero la fecundidad es un síntoma de la verdad. Los fallos de cualquier programa de conocimiento pueden ser simples dificultades transitorias; mas en el caso del reductivismo mecanicista sus fallos pueden explicarse como debidos a un error que le es fatal. El error consiste en creer que toda reducción *lógica* –como una definición o una deducción– es garantía de una reducción *ontológica*, o sea, de una eliminación de niveles. De la igualdad numérica entre la energía cinética media de un conjunto de moléculas y la temperatura del mismo no podemos inferir que "en el fondo" la temperatura "no es sino" una propiedad mecánica microscópica, del mismo modo que la intercambiabilidad de 'Platón' y 'el discípulo de Sócrates' no nos autoriza a inferir que "en el fondo" Platón estaba ya contenido en Sócrates o que "no era sino" un discípulo de Sócrates. Establecer relaciones entre conceptos no es lo mismo que eliminar unos de ellos en favor de las restantes propiedades.

Por ejemplo, puede intentarse explicar el interés del lector por la filosofía –que es una propiedad mental, ψ– como una función F de un complejo de propiedades biológicas, β, y otro complejo, σ, de variables socioculturales: $\psi = F(\beta, \sigma)$. Si ψ pertenece al nivel enésimo, β pertenece al nivel (n – 1)-ésimo, y σ al nivel (n + 1)-ésimo. Pero el descubrimiento de esa relación no nos autorizaría a decir que hemos *reducido* ψ a β y σ; lo que podemos decir es que hemos conseguido una *explicación inter-nivel no-reductiva*; lo que se logra así no es eliminar la emergencia sino explicarla. Y el establecer una tal relación entre niveles diferentes es seguramente más valioso e interesante que dejarlos sin relacionar o rebajarlos al nivel inferior o disiparlos en el superior (cf. fig. 9.6).

La *reducción propiamente dicha* no debe pues confundirse con la simple relación internivel. Propiedades y leyes se encuentran propiamente reducidas a otras propiedades y leyes si se muestra que son de hecho *las mismas*, a pesar de la apariencia en contra. Y una teoría queda propiamente reducida a otra teoría si se prueba que la reducida es una *subteoría* de otra teoría más rica (a la que se reduce la primera), de tal modo que las leyes de la teoría reducida resultan encontrarse entre las de la teoría reductora. (Sobre el concepto de

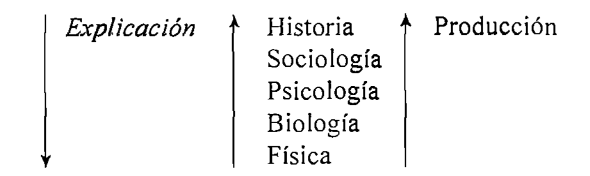


FIGURA 9.7. Explicación internivel, o vinculación de leyes y teorías de un nivel a leyes y teorías de uno o más niveles diferentes.

subteoría: sec. 7.3, Teorema 1.) Dicho de otro modo: la reducción propiamente dicha se cumple sólo en el caso de que una teoría esté incluida en otra, con lo que la primera podrá reducirse de la segunda, como ocurre a la estática respecto de la dinámica, y en algunos otros casos. Cualquier otra relación entre teorías requiere hipótesis adicionales.

Algunos importantes casos de interrelación entre teorías frecuentemente confundidos con reducciones son el isomorfismo, el solapamiento parcial de la base predicativa y el solapamiento parcial de la base axiomática.

Si dos teorías son *isomórficas* tienen la misma estructura subyacente, pero no todas sus primitivas tienen la misma interpretación en las dos teorías o modelos. (No vale la afirmación recíproca: a menudo ocurre que una teoría abstracta, como, por ejemplo, la teoría de grupos, tiene modelos no-isomórficos. Sólo son isomórficas las interpretaciones de teorías categóricas.) Un caso importante y de interés en este respecto es la relación que existe entre la mecánica matricial y la mecánica ondulatoria: esas dos teorías son isomórficas, pero algunos de sus símbolos primitivos tienen significaciones diversas; eso hace que las dos teorías sean matemáticamente equivalentes, pero físicamente no equivalentes. Consideremos ahora el caso de dos teorías que no se encuentren en la relación de inclusión, pero tengan sin embargo en común algunos conceptos básicos (*solapamiento parcial de las bases predicativas*).

En principio podrán establecerse relaciones entre los dos conjuntos de predicados, utilizando los conceptos comunes a ambos conjuntos como eslabones de enlace; por tanto, es posible en principio construir una entera tercera teoría que constituya un puente entre las dos viejas, o incluso que englobe a ambas. Tal es el caso de la electrodinámica respecto de la dinámica y la teoría electromagnética.

Por último, dos teorías pueden presentar un solapamiento parcial no sólo por tener en común algunos predicados, sino también por coincidir en algunos enunciados (*solapamiento parcial de las bases axiomáticas*). Por ejemplo, la mecánica cuántica conserva en su base axiomática algunos enunciados legaliformes clásicos (referentes, por ejemplo, a la relación entre energía y momento). En ninguno de los tres casos hay reducción propiamente dicha; en ninguno de ellos podemos decir con propiedad que una de las teorías se haya reducida a la otra. De las tres relaciones que hemos indicado sólo la primera –isomorfismo– se ha estudiado con detalle, a causa de su interés matemático y lógico. La determinación de las efectivas relaciones formales y semánticas entre las existentes teorías factuales es un problema aún abierto y, pese a su importancia, no ha pasado aún del mero planteamiento.

En resolución: a menudo es posible construir una explicación mecanísmica de leyes.

Una tal explicación introduce la hipótesis ontológica de la estructura multi-nivel de la realidad (cf. sec. 5.9). Y esa hipótesis es la única que parece capaz de explicar (*i*) por qué tenemos ciencias distintas para el estudio de los sistemas físicos, los organismos y las sociedades, respectivamente, y (*ii*) el hecho de que esas ciencias, distintas y separadas, están de todos modos interrelacionadas.

Problemas

9.5.1. Ejemplificar explicaciones mecanísmicas de un solo nivel y de nivel nuevo.

9.5.2. ¿Consideraríamos las siguientes generalizaciones estadísticas como leyes fundamentales (irreducibles o, por lo menos, irreducidas), o nos preguntaríamos por el mecanismo de su producción? (*i*) "En todo país, la razón entre los niños recién nacidos y las niñas recién nacidas aumenta durante las guerras o inmediatamente después de ellas". (*ii*) "Los niños nacidos en otoño o en verano tienden a ser más inteligentes que los demás". (*iii*) "Los hijos de padres inteligentes (estúpidos) tienden a ser menos inteligentes (estúpidos) que sus padres."

9.5.3. La primera ley de Kirchhoff sobre las redes eléctricas –"La suma algebraica de las intensidades de la corriente en cada nudo de una red es cero"– se sigue del principio de conservación de la carga eléctrica, el cual vale a su vez para cargas elementales (electrones). Examinar la derivación y comentarla. *Problema en lugar de ése*: Hacer lo mismo con cualquier otro enunciado legaliforme.

9.5.4. Comentar las siguientes observaciones de C. A. Coulson en "Present State of Molecular Structure Calculation", *Reviews of Modern Physics*, *32*, 170, 1960, p. 173: mientras que algunos químicos se interesan sobre todo por la precisión de los datos y las operaciones, otros se interesan en primer término por la explicación. Por ejemplo, estos últimos "desean saber por qué es tan fuerte el vínculo HF cuando es tan débil el vínculo FF. En cuanto a las mediciones exactas, las dejan en manos de los especialistas en espectroscopia y físico-química; lo que ellos esperan es que el especialista en mecánica cuántica explique *por qué* existe esa diferencia". La explicación no debe ser que la calculadora electrónica muestra que las energías de combinación son más fuertes en el caso HF que en el caso FF. "Una explicación aceptable tiene que basarse en las repulsiones entre electrones que no se vinculan, en las fuerzas de dispersión entre los núcleos atómicos, en la hibridización y en el carácter iónico". Analizar este texto utilizando los conceptos de teoría representacional y explicación mecanísmica.

9.5.5. Los psicólogos han distinguido a menudo entre dos llamados tipos de explicación científica: explicación *reductiva* (por referencia a niveles inferiores) y explicación *constructiva* (a base de construcciones de nivel superior). ¿Se trata realmente de dos tipos de explicación? ¿No se hace toda explicación científica del comportamiento cotidiano individual a base, a la vez, de una referencia a dos niveles diferentes (el fisiológico y el social) y de construcciones teoréticas?

9.5.6. Examinar las tesis de los holistas e intuicionistas según la cual la producción de novedad no puede explicarse, sino que debe aceptarse ciegamente. ¿Es esa tesis compatible con la química y la biología contemporáneas?

9.5.7. Realizar un estudio lógico y epistemológico de la explicación química de la base de la reproducción biológica (replicación del gen) propuesta por J. Watson y F. Crick en 1953. En particular, examinar el modelo de doble hélice de la estructura del gen, con referencia al mandamiento convencionalista "No te harás ninguna imagen de las cosas que no has visto."

9.5.8. Examinar la explicación estadística de la improbabilidad (próxima a la imposibilidad)

de la inversión de procesos como la mezcla de café y leche o la transformación de hombres en homínidas.

9.5.9. Informar acerca del estado actual del problema de la reducción.

9.5.10. Desarrollar las observaciones de Peirce sobre "la historia natural de las leyes de la naturaleza", o sea, la explicación de las leyes de la naturaleza como resultados de procesos evolutivos. Cf. C. S. Peirce "The Architecture of Theories" (1891) y la carta a Lady Welby (1911) en P. P. Wiener (ed.), *Values in a Universe of Change*, Nueva York, Doubleday Anchor Books, 1958. Obsérvese que Peirce no puede haber imaginado una evolución propia de las leyes, pues las concebía de un modo que recuerda a Heráclito, a saber, "como una racionalidad que actúa en el mundo" (*loc. cit.*, p. 300). Dicho brevemente, según Peirce "es la ley lo que da forma al acontecimiento" (*ibid.*). Especular acerca de la posible génesis de leyes en un universo que se sostiene a sí mismo. *Problema en lugar de ése*: Examinar los intentos de explicar (reductivamente o de otro modo) los esquemas de comportamiento y los del pensamiento como procesos cerebrales. Cf. D. O. Hebb, *A Texbook of Psychology*, Philadelphia, Saunders, 1966 y *Essay on Mind*, Hillsdale NJ, Lawrence Erlbaum, 1980; D. Bindra, *A Theory of Intelligent Behavoir*, Nueva York, Wiley, 1976; M. Bunge, *El problema mente-cerebro*, Madrid, Tecnos, 1985; S. M. Kosslyn y O. Koenig, *Wet Mind: The New Cognitive Neurosciences*, 2a. ed., Nueva York, The Free Press, 1995.

9.6. PODER EXPLICATIVO

Todo hecho dado puede en principio recibir un número ilimitado de explicaciones incompatibles unas con otras: piénsese en los muchos modos de disculpar sus derrotas que tiene un político. Las explicaciones posibles de una generalización son menos numerosas, pero tampoco escasas. ¿Cómo elegir la explicación más adecuada? Aunque no parece existir ningún criterio a prueba de todo riesgo, si nos contentamos con criterios falibles los hallaremos examinando la práctica real de estimación de explicaciones científicas concurrentes.

Tenemos, por de pronto, un criterio para localizar explicaciones sospechosas: el grado en que sean *ad hoc*. Se dice que una explicación es *ad hoc* si la generalización que contiene se ha formulado exclusivamente para adaptarse al explicandum dado. Supongamos que alguien presenta la pretendida generalización "Las mujeres no dan resultado en la profesión médica". En seguida pueden inventarse numerosas explicaciones *ad hoc* de ese "hecho": que las mujeres se dejan absorber por su vida familiar y descuidan sus demás deberes, que son menos inteligentes, tenaces y ambiciosas que los hombres, etc. Y si otro contesta indicando que esos defectos bastarían para descalificar el trabajo de niñeras y guardadoras de niños –que trabajan muy bien– y que en algunos países las mujeres dan un elevado porcentaje de los médicos, e incluso de los mejores, se inventará fácilmente otro conjunto de hipótesis explicativas *ad hoc*: que las mujeres son más sensibles al sufrimiento humano, que son más pacientes y comprensivas que los hombres, que tienen una aguda intuición muy útil para el diagnóstico clínico, etc. Como se ve, las explicaciones *ad hoc* son una especie de excusas.

Los rasgos principales de la explicación *ad hoc* son los siguientes. En primer lugar, la explicación *ad hoc* es *post factum*, en el sentido de que las generalizaciones que contie-

ne, aunque encajan con los datos, no habrían podido predecirlos; dicho de otro modo: la explicación *ad hoc* es sabiduría posterior a los hechos. En segundo lugar, es rígida, *imperfectible*: construida para recoger un determinando explicandum, hay que abandonarla –o justificarla por más conjeturas *ad hoc*– en el momento en que falta o resulta criticable el explicandum mismo. En tercer lugar *no es generalizable* sino accidentalmente, por casualidad: pues no hay fundamento para ampliarla a otros casos. Esos rasgos de la explicación *ad hoc* se desprenden de su pecado original: el no deberse a generalizaciones propiamente dichas y sistémicas, o sea, el no constar de enunciados legaliformes propiamente dichos. La explicación *ad hoc* no es explicación teorética, no es deducción practicada en el seno de una teoría.

Las generalizaciones aisladas pueden suministrar todas las "explicaciones" oportunistas que se deseen. Pero sólo las generalizaciones de una teoría pueden dar explicaciones *basadas en principios*, y siempre en número limitado: propiamente, *sólo una explicación por teoría*. Sin duda seguirá habiendo más de una explicación posible para cada enunciado factual singular o general, pero el conjunto de posibilidades es en este caso exactamente tan numeroso como el de las teorías relevantes en concurrencia, y éste es siempre un conjunto muy manejable. La razón de la drástica limitación del número de explicaciones posibles cuando se impone el requisito de teorización o sistemicidad es clara: en una teoría factual no estamos autorizados a introducir premisas generales arbitrarias que den de sí el explicandum que nos interesa, sino que tenemos que partir exclusivamente de los supuestos iniciales de la teoría; en particular, nos está prohibido el introducir premisas que contengan predicados ajenos a la teoría (cf. sec. 7.2, sobre consistencia semántica). Dicho de otro modo: la aplicación de la regla de adición, que es lo que más facilita las deducciones oportunistas, está muy limitada en las teorías factuales por el requisito de consistencia semántica. Consiguientemente, sólo la teoría científica puede tener una proyección explicativa que sea apreciable, por no accidental, sino debida a la universalidad de las leyes de la teoría.

Con ciertas limitaciones, puede decirse que la mejor teoría es la que tiene el mayor alcance explicativo. (En la sec. 10.4 hablaremos de esas limitaciones o restricciones.) Por eso la secuencia histórica de teorías en un determinado campo debe exhibir a grandes rasgos un alcance creciente. Buena ilustración de esa tendencia es la secuencia de las teorías de la luz, secuencia que no está ni mucho menos terminada. Puede verse al respecto la tabla 9.3. Se aprecia en ella que las teorías más adelantadas dan razón de casi todos los hechos típicos y leyes de bajo nivel, pero que ninguna teoría los explica todos. En particular, el aumento (o disminución) de la frecuencia de una onda luminosa al adentrarse en (o salirse de) un campo gravitatorio no se explica hasta ahora más que por la intersección de la teoría electromagnética y la teoría relativista de la gravitación, pero esa combinación teorética deja en cambio sin explicar los efectos cuánticos 17 a 20 de la tabla. La situación parece indicar que una de las primeras tareas a la vista debería ser la construcción de una teoría que cumpliera al mismo tiempo los requisitos fundamentales de la mecánica de los *quanta* (abreviada con 'm.q.' en la tabla) y la teoría general de la relatividad. Aunque se han hecho algunos intentos en ese sentido, con algún éxito parcial, no se tiene hasta ahora ninguna síntesis satisfactoria. La luz sigue siendo oscura...

TABLA 9.3. ESTADIOS DE LA ÓPTICA

	Óptica del rayo (Hierón)	Teoría del éter hidrodinámico (Descartes)	Teoría corpuscular (Newton)	Teoría ondulatoria longitudinal (Huygens)	Teoría ondulatoria transversal (Fresnel, Cauchy, Green)	Teoría electromagnética (Maxwell)	Teoría electromagnética sin éter	Teoría electromagnética con espacio curvo	Teoría electromagnética con teoría electrónica	Electromagnetismo cuántico con *m. q.* no relativista	Electromagnetismo cuántico con *m. q.* relativista
1. Propagación rectilínea	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Reflexión	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3. Refracción	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4. Tiempo extremo	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5. Dispersión	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6. Superposición				—	—	—	—	—	—	—	—
7. Birrefracción				—	—	—	—	—	—	—	—
8. Disminución de la velocidad en medios transparentes				—	—	—	—	—	—	—	—
9. Difracción				—	—	—	—	—	—	—	—
10. Interferencia				—	—	—	—	—	—	—	—
11. Efecto Doppler				—	—	—	—	—	—	—	—
12. Polarización					—	—	—	—	—	—	—
13. Presión de la radiación			—			—	—	—	—	—	—
14. Dispersión anómala									—	—	—
15. Velocidad invariante							—	—			—
16. Cambio de frecuencia en campo gravitatorio								—			
17. Dispersión									—	—	—
18. Espectro cuerpo negro										—	—
19. Efecto fotoeléctrico										—	—
20. Efecto Compton										—	—

El anterior ejemplo muestra ante todo que la teoría vieja (por lo general más simple) *puede* frecuentemente usarse para recoger cierto número de hechos, en particular los más familiares, los conocidos desde más tiempo. Sería absurdo utilizar la teoría cuántica de la luz para calcular el ángulo de refracción a partir del de incidencia y del índice de refracción; tan absurdo como ignorar la teoría cuántica al deducir el índice fenomenológico de refracción a partir de propiedades y leyes de nivel inferior. (Se necesitan teorías cuánticas de la luz exclusivamente para (*i*) los efectos típicamente cuánticos que pueden esperarse cuando se trata de unos pocos fotones a la vez, o de su acción sobre electrones, y (*ii*) la producción de estructuras luminosas macroscópicas a partir de estructuras cuánticas.) Otra lección que puede aprenderse de la tabla 9.3 es que, aunque en la mayoría de los casos una teoría nueva absorberá la vieja, en algunos el solapamiento del dominio de validez de teorías sucesivas no es completo, por lo cual hay que usar *forzosamente* algunas teorías más viejas para recoger sus explicanda peculiares.

Teniendo en cuenta el número de teorías que frecuentemente se disputan un mismo dominio fáctico, sería conveniente tener una medida de la capacidad o potencia explicativa de las mismas. Un primer criterio bastante grosero es la máxima "Explicar lo más con lo menos", formulación de la regla de economía del pensamiento. Supongamos que una teoría T arranca con n supuestos iniciales recíprocamente independientes y absorbe (explica) N generalizaciones que, sin ella, son también independientes unas de otras (éstas pueden ser las hipótesis que dieron origen a la disciplina o tema). En esas circunstancias la siguiente función ρ puede considerarse como medida del *rendimiento explicativo* o la eficiencia explicativa de T:

$$\rho(T) = 1 - \frac{n}{N} \qquad [9.6]$$

Si T no es más que una combinación de las N generalizaciones originarias, o sea, si T es una sistematización *ad hoc*, entonces, como $n = N$, su rendimiento será nulo. En cambio, si T es una teoría propiamente dicha, subsumirá gran número (acaso infinito) de generalizaciones y, por tanto, su rendimiento explicativo se aproximará a la unidad. Es claro que esa dilucidación del concepto de eficiencia explicativa es demasiado brutal, porque da por supuesto que todos los enunciados afectados son completamente verdaderos, no, como ocurrirá frecuentemente, parcialmente verdaderos. Dicho de otro modo: la fórmula propuesta indica el ámbito de las explicaciones científicas, pero pasa por alto su exactitud.

Una cosa es, en efecto, el *ámbito* o la extensión del conjunto de hechos y leyes de nivel bajo cubierto por una teoría y otra completamente distinta la *precisión* o adecuación de una tal cobertura. Teorías diferentes pueden dar razón de un conjunto dado de explicanda con diferentes grados de precisión. Si su ámbito es aproximadamente el mismo, se preferirá la más precisa de ellas, mientras que si es su precisión la que resulta aproximadamente idéntica, se preferirá la teoría que tenga mayor ámbito. El ámbito de una teoría puede ampliarse casi ilimitadamente si se relajan los criterios de precisión. Y, a la inversa, puede reforzarse la precisión de una teoría reduciendo su ámbito: una teoría cortada a medida para encajar con un solo hecho puede ser todo lo precisa que se quiera. Pero la precisión sin ámbito no tiene el menor valor, porque puede conseguirse de mu-

chos modos distintos mediante construcciones *ad hoc*. Y el ámbito solo también carece de valor: las construcciones que sirven para todo, como las que manejan conceptos vagos o inescrutables ("represión", "Gestalt", "difusión cultural", y otros del mismo género) son demasiado acomodaticias. Concluimos, pues, (*i*) que el rendimiento de una teoría tiene que analizarse en ámbito y precisión, y (*ii*) que ámbito y precisión tienen que exigirse *conjuntamente*, no por separado: el requisito de ámbito tiene que contrastarse mediante el de precisión, y a la inversa. No conseguiremos a la vez ámbito universal y precisión perfecta, pero podemos conseguir el ámbito máximo compatible con una precisión razonable.

El ámbito de una hipótesis o teoría puede a su vez considerarse como un conjunto constituido por los siguientes subconjuntos: (*i*) el conjunto de los explicanda conocidos, o sea, de los datos y las construcciones de nivel bajo disponibles; (*ii*) el conjunto (desconocido) de los explicanda no conocidos de la misma naturaleza que los del anterior subconjunto; (*iii*) el conjunto de los explicanda conocidos pero de otra naturaleza, no tomados en cuenta al proponer inicialmente la construcción; (*iv*) el conjunto (desconocido) de los explicanda no conocidos por el momento, de naturaleza distinta y no contemplados inicialmente (por ejemplo, la presión de radiación, explicable por la teoría electromagnética de Maxwell, pero que no se conocía en el momento en que apareció esta teoría), y (*v*) el conjunto de los explicanda lógicamente posibles, concebibles a base de otras construcciones, pero imposibles según la construcción dada; o sea: el conjunto de los no-hechos determinados como tales por la construcción (cf. sec. 9.3). Es claro que sólo los subconjuntos (*i*) y (*iii*) son limitados y pueden medirse de un modo definido. Los demás conjuntos son abiertos: pueden ampliarse después de que se haya estimado el rendimiento de la teoría. Por tanto, aunque en un sentido el ámbito de una teoría puede considerarse como dado junto con la teoría misma, la determinación de su medida puede cambiar con el tiempo. Desde luego que no "descubrimos" los elementos que constituyen los varios subconjuntos, sino que los construimos gradualmente nosotros mismos. En cualquier caso, el ámbito de una teoría no está determinado de una vez para siempre. Lo que puede determinarse en el momento inicial es el ámbito *mínimo* de la teoría, que consta del subconjunto (*i*) de los datos y generalizaciones conocidos en ese momento y cubiertos por la teoría; luego el ámbito *efectivo* de la teoría, igual a la suma lógica de los subconjuntos (*i*), (*iii*) y acaso (*v*). Análogamente, la precisión atribuida a una teoría variará con el tiempo, puesto que depende de las técnicas de contrastación empírica disponibles y de las demás teorías que intervienen en la contrastación de la que se estudia. (Sobre este último punto, cf. sec. 8.4.) En resolución: el rendimiento de una teoría se estimará diversamente en épocas distintas, y en cada una de ellas podemos calcular su rendimiento *actual*, jamás su rendimiento *potencial*, el cual puede incluso no tener solapamientos con el actual. La estimación del rendimiento potencial de una teoría –o sea, de todo lo que podría rendir la teoría– requeriría que tuviéramos acceso a todas las consecuencias contrastables de la teoría y a todo posible hecho relevante para la teoría.

*El concepto de *rendimiento actual* de una teoría puede cuantificarse a base del concepto de verdad. Sea T una teoría factual cualitativa, y $\{t_i\}$ el conjunto de sus consecuencias contrastables. El valor veritativo de las t_i se estimará a base del conocimiento anterior A (que no contiene a T) y la evidencia empírica E relevante para las t_i. En la práctica

esta estimación se basará en la contrastación de una muestra del conjunto total $\{t_i\}$. Supongamos que se confirman un número C de t_i y quedan refutadas un número R. Si sumamos los valores veritativos individuales de las consecuencias contrastadas de la teoría, atribuyendo el número +1 a la verdad y el número –1 a la falsedad, obtenemos. $C \cdot (+1) + R \cdot (-1) = C - R$. Podemos tomar eso como medida del valor *veritativo empírico* de la teoría, o valor veritativo atribuido a la teoría en base a contrastaciones empíricas. Luego promediamos el valor veritativo empírico con la suma de los valores veritativos teoréticos de las t_i, que son todos igual a 1, puesto que se supone que las t_i han sido correctamente deducidas en T. Así obtenemos el valor veritativo total, o *rendimiento* de T:

$$R(T) = 1/2(C - R + N) = C, \text{ puesto que } N = C + R \qquad [9.7]$$

El rendimiento así definido coincide con el ámbito actual (no el potencial) de la teoría. Si el número N de contrastaciones es grande, tiene sentido y es conveniente referirse a la fracción de logros, o *rendimiento relativo*, $R_r(T)$:

$$N >> 1, \quad R_r(T) = \frac{C}{N}, \qquad [9.8]$$

que es un número entre 0 y 1. También podemos considerar que $R_r(T)$ es el *grado de confirmación* de T, siempre que no caigamos en la tentación de identificarlo con una probabilidad por el mero hecho de ser una fracción entre 0 y 1. He aquí algunos casos típicos:

$$\begin{array}{ll} C = N,\ R = 0 \ (\textit{confirmación completa}), & R_r(T) = 1 \\ C = 0,\ R = N \ (\textit{refutación completa}), & R_r(T) = 0 \\ C = R = N/2 \ (\textit{mitad y mitad}), & R_r(T) = 1/2 \end{array} \qquad [9.9]$$

Las anteriores fórmulas pueden generalizarse cómodamente para aplicarlas a una teoría cuantitativa contrastada con precisión también cuantitativa. Llamando $V(t_i \mid AE)$ al grado de verdad de t_i estimado a base del conocimiento anterior A y la evidencia empírica E, y $V(t_i \mid T)$ al valor veritativo teorético de t_i, podemos escribir

$$R(T) = (1/2)\ \Sigma_i\ [V(t_i \mid AE) + V(t_i \mid T)], \quad -1 \leq V \leq +1 \qquad [9.10]$$

con la sigma mayúscula para designar sumación sobre i entre 1 y N. Es claro que [9.7] es un caso particular de [9.10], a saber, el caso en el cual toda t_i es completamente verdadera o completamente falsa estimada en base a A, E y T. Si una teoría da cuenta de las N situaciones empíricas con el mismo error aproximadamente, ε ($0 \leq \varepsilon < 1$), en todos los casos, tenemos $V(t_i \mid AE) = 1–2\varepsilon$, y consiguientemente

$$R(T) = (1/2)\ [N(1 - 2\varepsilon) + N] = N(1 - \varepsilon) \qquad [9.11]$$

En ese caso particular el rendimiento es, pues, igual al ámbito multiplicado por la precisión, $1 - \varepsilon$. En cambio, si la teoría es enteramente falsa, o sea, si $V(t_i \mid AE) = -1 + 2\varepsilon$,

entonces

$$R(T) = N\varepsilon \geq 0 \qquad [9.12]$$

que tiende a cero con ε. Mientras no se anule la imprecisión de la teoría –que depende de los enunciados contrastados t_i y de las técnicas de contrastación–, la teoría tendrá algún rendimiento. O sea, la imprecisión compensa la pobreza o hasta la nulidad del ámbito. (En el último caso el ámbito de la teoría era $C = 0$.)

Igual que en el caso de las teorías cualitativas, también aquí interesa introducir el concepto de *rendimiento relativo* $R_r(T)$:

$$N >> 1, R_r(T) = (1/2N)\, \Sigma\, V(t_i \mid AE) + V(t_i \mid T) \qquad [9.13]$$

Casos típicos:

$$\begin{aligned} &C = N, R = 0 \text{ (*confirmación completa con error* } \varepsilon), && R_r(T) = 1 - \varepsilon \\ &C = 0, R = N \text{ (*refutación completa con error* } \varepsilon), && R_r(T) = \varepsilon \\ &C = R = N/2 \text{ (*mitad y mitad*)}, && R_r(T) = 1/2 \end{aligned} \qquad [9.14]$$

Si la teoría es algo complicada habrá que hacer supuestos simplificadores para reducir las t_i. Estas simplificaciones introducirán otros errores (teoréticos) más, $\delta_i \geq 0$, de tal modo que $V(t_i \mid T) = 1 - 2\,\delta_i \leq 1$. Suponiendo (lo cual es también un caso ideal) que todos esos errores teoréticos sean idénticos, o sea, que $\delta_i = \delta$, obtenemos en vez de [9.14] y para los mismos casos:

$C = N$, $R = 0$ (*confirmación completa con errores* δ y ε)
$$R_r(T) = 1 - (\delta + \varepsilon)$$

$C = 0$, $R = N$ (*refutación completa con errores* δ y ε),
$$R_r(T) = \varepsilon - \delta \qquad [9.15]$$

$C = R = N/2$ (*mitad y mitad*), $R_r(T) = 1/2 - \delta$.

La segunda fórmula de [9.15] cubre el caso, nada insólito en la práctica científica, en el que los errores experimentales enmascaran o compensan aproximaciones teoréticas. En la sección 10.4 se presentarán otras fórmulas que relacionan el rendimiento con la imprecisión y la capacidad de predicción.*

Un rendimiento alto es síntoma importante del grado de verdad de una teoría. Pero el rendimiento máximo no es un desideratum absoluto: la máxima *profundidad* explicativa es un desideratum importante (cf. sec. 9.4) que puede entrar en conflicto con el rendimiento. Así, por ejemplo, puede valer la pena trabajar en una teoría representacional preliminar que tenga por el momento un rendimiento limitado, aunque la correspondiente teoría fenomenológica posea ya un rendimiento amplio: no sólo nos interesan las ver-

dades, relativamente sin riesgos, sobre un determinado nivel, sino también las conjeturas, más arriesgadas, sobre las relaciones entre ese nivel y otros. Una teoría capaz de suministrar explicaciones de varios niveles tendrá sin duda más potencia explicativa que otra reducida a explicaciones de un solo nivel: la primera suministrará explicaciones interpretativas de hechos y de generalizaciones (cf. secs. 9.4 y 9.5), mientras que la última no dará más que explicaciones subsuntivas. Esto sugiere la introducción explícita del concepto de *potencia explicativa*, $E(T)$, de una teoría T, como el producto del rendimiento por la profundidad de la misma:

$$E(T) = R(T) \cdot P(T) \qquad [9.16]$$

El punto de esa fórmula no puede interpretarse como producto aritmético mientras no consigamos establecer una medida de la profundidad. Tal vez pueda conseguirse esto en el contexto de una teoría de los niveles. Por el momento nos contentaremos con el ingenuo procedimiento que consiste en atribuir números (de una escala ordinal) a los varios niveles atravesados por la teoría de que se trate. Así, por ejemplo, se atribuirá la profundidad 1 a una teoría estrictamente conductista, profundidad 2 a una teoría que contenga a la vez variables conductistas y variables psicológicas, y profundidad 3 a una teoría que cuente con conceptos conductistas, psicológicos y fisiológicos.

*Por ejemplo, la potencia explicativa de una teoría de n niveles que dé cuenta de los N datos relevantes con la precisión $1 - \varepsilon$ es, según [9.11] y [9.16],

$$E(T) = N \cdot (1 - \varepsilon) \cdot n \qquad [9.17]$$

o sea, el producto del ámbito por la precisión y por la profundidad de la teoría. Según eso podemos refigurar la potencia explicativa de una teoría como volumen de la teoría (cf. fig. 9.7). El valor mínimo, determinado por el ámbito mínimo, es todo lo que podemos estimar en el momento en que nace una teoría. A partir de ese momento el volumen puede ampliarse o restringirse, pero cualquiera de esos desarrollos es difícil de prever.*

En suma: el concepto de potencia explicativa puede analizarse en rendimiento y profundidad. A su vez, el rendimiento se determina por el ámbito y la precisión, determinados a su vez por el grado de verdad de las consecuencias de la teoría que han sido sometidas a contrastación. Y como estas últimas no son más que una muestra –y ni siquiera al

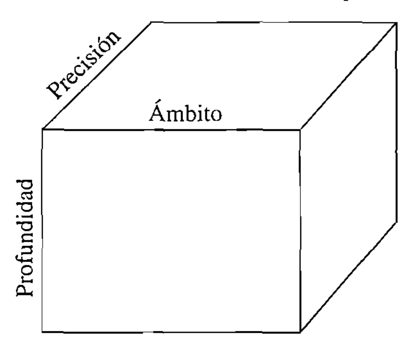


FIGURA 9.8. El volumen de una teoría: $E(T)$ = Ámbito(T) × Precisión(T) × Profundidad(T) .

azar– del conjunto total de las consecuencias contrastables de la teoría, resulta que una intensa potencia explicativa no es garantía de la verdad de una teoría, sino sólo un síntoma de ella. Hay que añadirle otros síntomas de la verdad de la teoría para que la potencia explicativa permita formular un diagnóstico adecuado –pero siempre corregible– de las virtudes de la teoría. (Cf. secs. 10.4 y 16.7.)

Estudiemos, por último, el lugar de la explicación en la ciencia.

Problemas

9.6.1. Durante las guerras y después de ellas nacen más niños que niñas: ésta es una generalización empírica de la que se han ofrecido las siguientes explicaciones: (*i*) "La Naturaleza, que es un todo autorregulado, compensa la pérdida de hombres en el campo de batalla". (*ii*) "La guerra acelera los compromisos y favorece, por tanto, una maternidad temprana. Ahora bien, las parejas jóvenes tienden a concebir más niños que niñas". Examinar las dos explicaciones desde el punto de vista de su carácter *ad hoc*.

9.6.2. Se han dado dos explicaciones de la ley de Boyle y Mariotte para los gases ideales. El supuesto central de una de esas dos explicaciones es que un gas es una colección de moléculas que se mueven rápidamente al azar. La otra explicación supone que un gas es un fluido continuo en movimiento rotatorio. La ley puede derivarse correctamente tanto de la teoría molecular cuanto de la teoría del medio continuo y, por tanto, las dos explicaciones se consideraron equivalentes durante un largo periodo. ¿Cuáles eran los ámbitos, las precisiones y las profundidades iniciales de las dos teorías? ¿Y qué ocurrió luego? Esto es: ¿como se alcanzó la decisión final?

9.6.3. ¿Es el ámbito deseable por sí mismo?

9.6.4. Examinar la difundida opinión según la cual el rendimiento de toda teoría nueva es mayor que el de sus predecesoras, porque de no ser así no se la habría tomado en consideración. *Problema en lugar de ése*: ¿Es posible identificar la potencia explicativa de una teoría con su potencia de implicación (o deducción)?

9.6.5. Construir una tabla parecida a la tabla 9.4, pero para algún campo que no sea la óptica.

9.6.6. Comparar la potencia explicativa de una teoría pseudocientífica con la de la teoría científica correspondiente.

9.6.7. Comparar dos sistemas científicos rivales cualesquiera desde el punto de vista de la potencia explicativa, en el momento inicial y después de haberse llevado a cabo algunas contrastaciones cruciales.

9.6.8. Es un desideratum de toda teoría nueva el dar cuenta de los éxitos y de los fallos de la teoría a la que intenta sustituir. Desarrollar este tema e ilustrarlo.

9.6.9. El perihelio de Mercurio presenta un ligero movimiento secular no explicado por la teoría de Newton. En el siglo XIX se propusieron algunas explicaciones de esa discrepancia entre la teoría y la observación, antes de que Einstein la explicara con la ayuda de su teoría del campo gravitatorio. Aquellas explicaciones pueden clasificarse en dos conjuntos: las que suponían una ley gravitatoria diferente de la de Newton y las que no hacían esa suposición. De entre las primeras pueden citarse las siguientes: (*i*) el exponente de la ley de Newton es ligeramente diferente de 2, a saber: $n = 2{,}00000016$; en este caso se explica la anomalía de Mercurio, pero resulta anómalo el movimiento de la Luna; (*ii*) se añade un término correctivo a la ley de Newton, a saber: $k \cdot r^{-n}$, con $n = 3$, 4 o 5; pero no hay valor de k satisfactorio para todos los planetas; (*iii*) se multiplica la fuerza de Newton por una función exponencial decreciente, e^{-kr}; pero también en este caso hay que suponer diferentes valores de k para los distintos planetas. Esas propuestas eran, pues, incon-

sistentes con la evidencia total; además, eran también inconsistentes con la teoría (clásica) del campo gravitatorio, basada en la ecuación de Poisson. Pero, a pesar de eso, las propusieron en serio investigadores competentes (por ejemplo, Laplace propuso la corrección exponencial). Aún más: en nuestros días, autores contrarios a la relatividad han propuesto chapuzas análogas sobre la ley de Newton, sin preocuparse de si las nuevas fórmulas eran independientemente contrastables ni de si satisfacían por lo menos la teoría clásica del campo gravitatorio. Explicar ese comportamiento. Detalles de todas esas explicaciones *ad hoc* en M. A. Tonnelat, *Les principes de la théorie électromagnétique et de la relativité*, París, Masson, 1959, pp. 253ss.

9.6.10. Introducir el concepto de tasa de crecimiento de una teoría, tasa que puede ser negativa. Indicación: empezar con una medida del rendimiento de la teoría. *Problema en lugar de ése*: Proponer una manera de medir el carácter *ad hoc* de las teorías. Sugerencia: contar el numero de hipótesis que no son contrastables independientemente, y cuya única función es proteger a otras hipótesis de la teoría.

9.7. FUNCIONES Y ALCANCE

¿Por qué tienen que buscar los científicos explicaciones? ¿No podrían bastar las descripciones y predicciones? Según varias escuelas filosóficas de bastante influencia, la ciencia no debe proponerse dar respuesta a cuestiones de *por-qué*, sino sólo a preguntas de *cómo*, o sea, que tiene que limitarse a producir descripciones máximamente completas y económicas de los fenómenos actuales y posibles. Desde ese punto de vista la explicación es superflua o hasta una desviación. Mostraremos que esa opinión, a la que podemos llamar *descriptivismo*, es inadecuada. Pero antes de argumentar nada hace falta una caracterización más detallada del descriptivismo.

Hay diferencias importantes entre los descriptivistas. Podemos distinguir tres especies de descriptivismo: (*i*) descriptivismo radical, que no acepta más que datos y, a lo sumo, hipótesis de mera condensación de datos; (*ii*) el "cajanegrismo", que tolera hipótesis y teorías trasempíricas siempre que no se les asigne significación que rebase lo observable; y (*iii*) el "antipictorialismo", que se opone a las explicaciones a base de modelos intuibles y susceptibles de representación gráfica, y los considera en cualquier caso como trucos metafóricos o didácticos, no como imágenes de la realidad.

El *descriptivismo radical* sostiene lo que su nombre dice acerca de la descripción y la explicación en la ciencia, a saber, que la investigación científica consiste, o debe consistir, exclusivamente en observaciones e inventarios de informes observacionales. El "*cajanegrismo*" añade por su parte que tales inventarios deben ser ante todo económicos, más que verdaderos, con cuyo objeto tienen que consistir en información empírica comprimida o en expedientes para comprimirlas; dicho de otro modo: el "cajanegrismo" permite leyes y teorías mientras sean fenomenológicas (no representacionales). O, como también podemos decir, mientras que el descriptivismo radical proscribe la explicación, el "cajanegrismo" permite la explicación subsuntiva, pero llamándola *descripción* y rechazando la explicación interpretativa. Por último, el "*antipictorialismo*" no se opone a que se introduzcan construcciones –por lejos que estén de la experiencia sensible– siempre que no se utilicen para construir modelos representables. Dicho de otro modo: las

explicaciones aceptables para esta tendencia suponen modelos teoréticos que no sean icónicos, sino simbólicos.

El descriptivismo radical y el "cajanegrismo" tienen sus raíces en la búsqueda de la certeza o infalibilidad, que es la fuente del prejuicio contra la hipótesis. El cajanegrismo se encuentra además enlazado con el convencionalismo, el ficcionalismo y el instrumentalismo, según los cuales la ciencia no puede representar la realidad –lo cual es un mal metafísico–, pero sí que puede sistematizar y prever la experiencia. También el antipictorialismo tiene a menudo esas mismas raíces filosóficas, pero, además, ha recibido el refuerzo que supone el fracaso de los modelos mecánicos del éter y del átomo. (Véase el segundo problema de 8.5.1.) En el caso de numerosos científicos, el antipictorialismo es más bien una reacción iconoclasta contra el mecanicismo ingenuo y contra el realismo ingenuo, y no tanto una filosofía sistemática: se trata de una rebelión sana –aunque exagerada– contra la construcción de modelos ingenuos cuya principal función es el intento de encarnar cosas que se encuentran esencialmente fuera del alcance de los sentidos.

No hay prácticamente duda de que el mecanicismo, lo que podría describirse como imagen del mundo propia de la ingeniería mecánica, ha sido superado por una visión más rica que supone entidades no mecánicas y cambios tampoco mecánicos que ocurren en cierto número de niveles de realidad. Pero también es un hecho que el mecanicismo puede suministrar a menudo una primera aproximación, ya por la circunstancia de que muchísimos objetos reales tienen propiedades mecánicas. El aparato del éter de Kelvin es ya insostenible, pero los modelos de molécula de Kekulé han sido simplemente refinados por la mecánica cuántica, y las órbitas atómicas de Bohr se mantienen como distribuciones medias. Los intereses de la ciencia quedan mejor servidos si se toma un camino equidistante de la iconolatría y la iconoclastia. No hay motivo para rechazar los modelos visualizables sólo por el hecho de serlo; pues en última instancia los correlatos de las teorías factuales existen en el espacio-tiempo, o sea, que están localizados de algún modo, y todo lo que es localizado –aunque no sea con límites claros– es visualizable o representable en alguna medida. Por tanto, en vez de dedicarse a romper iconos, lo más eficiente es oponerse a los modelos incontrastables o patentemente falsos, sean pictoriales o no lo sean (cf. sec. 9.5). Un modelo no visualizable de un sistema material, como el modelo aristotélico –a base de forma, potencia y causa final–, no es mejor que la más exagerada simplificación mecánica: el intento de imponer a la realidad esquemas incontrastables o caducados no se realiza necesariamente en un lenguaje "pictórico". El "antipictorialismo" debe, pues, considerarse como un exceso de celo contra la tentación que lleva a trivializar las ideas, y en este sentido será siempre útil. En cambio, las demás variedades del descriptivismo no tienen raíces sanas y pueden ser peligrosas. Vamos a intentar mostrarlo.

En primer lugar, es imposible dar una descripción completa y simple de todo hecho. La descripción de todos los hechos, macroscópicos y microscópicos, ocurridos en nuestra aula durante un segundo exigiría –en el supuesto de que fuera técnicamente posible– varios siglos de actividad. Ni siquiera podrían describirse con precisión los fenómenos propiamente dichos –o sea, los hechos experienciables– que ocurren en el mismo lapso de tiempo, a causa de su enorme número y de su complejidad y a causa de que toda descripción inteligente y precisa requiere teorías, y la teorización no está nunca completa. En segundo lugar –y esto es más importante– aunque fuera posible una descripción com-

pleta de cualquier conjunto dado de fenómenos, esa descripción sería inútil para la ciencia: los únicos hechos que se registran y describen normalmente en la ciencia son los relevantes para alguna idea de interés; o sea, los hechos que merecen descripción se seleccionan de entre una montaña de hechos, y esta selección, no menos que la descripción misma, se realiza con la ayuda de hipótesis y teorías. Además, toda descripción científica, lejos de ser completa, es deliberadamente parcial, en el sentido de que supone un limitado número de variables y desprecia también intencionadamente varias otras: se refiere a aquellas variables –y sólo a ellas– que presumiblemente son relevantes para alguna opinión y alguna intención. La adición de información irrelevante, por precisa que sea e interesante para algún otro objetivo, sería un estorbo para la invención de modelos adecuados (cf. sec. 8.1). Dicho de otro modo: en la ciencia no nos interesa más información en cada caso que la relevante, junto con su elaboración teorética. Pero información relevante quiere decir información relevante para un conjunto de puntos de vista y objetivos: todo lo demás es, desde el punto de vista de ese conjunto determinado, mero estorbo que hay que descartar. En tercer lugar, la descripción detallada de lo que ocurre es insuficiente para conseguir el conocimento científico propiamente dicho: primero, porque también importa lo que puede ocurrir y lo que no puede ocurrir, y estos posibles e imposibles no pueden estudiarse más que en base a alguna teoría; segundo, porque el conocimiento no es científico mientras no pueda unir los elementos dados por separado en la experiencia. En conclusión: el descriptivismo radical es falso y dañino.

El descriptivismo radical no parece cosa de científicos, sino de filósofos; lo que sí han defendido numerosos científicos es la versión más flexible del descriptivismo a la que hemos llamado *cajanegrismo* (cf. sec. 8.5). Sería instructivo establecer una lista de los progresos científicos que se han frustrado por las rigideces del cajanegrismo. Nos limitaremos a recordar aquí el descubrimiento del efecto termoeléctrico, hecho sumido durante decenios en la oscuridad sólo porque su descubridor se negó a dar un paso más allá de lo que había observado. En 1821 T. J. Seebeck averiguó que calentando un circuito metálico compuesto por dos conductores diferentes el circuito queda imantado, como se prueba por la desviación de una aguja magnética. Resumió entonces sus hallazgos en la siguiente generalización: "El calentamiento de un circuito que contiene dos metales diferentes se acompaña por la imantación del circuito." Se trataba de una hipótesis de nivel bajo que compendiaba y generalizaba la conjunción observada de dos propiedades directamente observables: calor y magnetismo. La hipótesis era estrictamente fenomenológica: no suministraba una explicación mecanísmica del hecho. Esta generalización se mantuvo aislada, y por tanto estéril, durante muchos años; aun peor: la negativa a intentar penetrar más allá de lo observado llevó a Seebeck a la equivocada idea de que el campo magnético terrestre se debiera a la diferencia de temperatura entre los polos y el ecuador. Posteriormente se formuló una hipótesis más profunda: "La diferencia de temperatura en un circuito que contiene dos conductores metálicos diferentes produce una corriente eléctrica [inobservable] que engendra a su vez un campo magnético [inobservable] el cual actúa sobre la aguja imantada." Con eso no quedaba enteramente aclarado el mecanismo por el cual se constituye la corriente al calentar una unión por soldadura: la nueva hipótesis era semifenomenológica. Pero la adición del eslabón invisible –la corriente eléctrica y el campo magnético que la acompaña– fue suficiente para

salvar a la termoelectricidad de su aislamiento. Si Seebeck hubiera tenido la audacia de formular esa conjetura semirrepresentacional en vez de aferrarse a los hechos observables, habría inaugurado todo un nuevo campo de la física. Tal como procedió, no hizo más que añadir un sello más a la imagen del mundo propia del coleccionista de sellos, una imagen que ve el mundo como montón de hechos sin relacionar. Otros investigadores dispuestos a explicar el efecto –o sea, a explicar la generalización empírica inicial– hicieron progresar el tema.

Otro ejemplo de esa táctica constrictiva del descriptivismo es el principio de abstenerse de preguntarse por el origen, el desarrollo y el mecanismo de las instituciones sociales, con la recomendación de que antropólogos y sociólogos se limiten a resumir los hechos sociales que ocurran en las comunidades estudiadas y a describir las funciones de las costumbres y las instituciones. Se dice confiadamente que eso puede hacerse sin más base que la observación, mientras que las cuestiones de origen, evolución y mecanismo requieren hipótesis. Pero ni siquiera ese modesto programa (funcionalismo) es realizable exactamente; primero, porque las instituciones como tales son inobservables; segundo, porque la observación no suministra las ideas que nos sugieren el tomar tales o cuales rasgos de una sociedad en vez de otros. Así, por ejemplo, la recolección de datos sobre la historia económica y social no empezó hasta que se formuló explícitamente la hipótesis de que la producción y el comercio producen ciertas básicas relaciones sociales, y que éstas constituyen el tejido de toda sociedad. Ningún hecho social, y aún menos una función social, ha sido nunca observado por un científico sin guía teorética: todo lo que podemos observar sin ella es unos cuantos individuos y muchedumbres que se mueven; lo demás es conjetura o inferencia. La descripción adecuada de una institución social requiere unas cuantas ideas, del mismo modo que la descripción adecuada de una nube requiere unas cuantas teorías, y cuanto más representacionales sean las teorías usadas para la descripción, tanto más profunda será ésta.

En conclusión, el descriptivismo tiene dos peligrosos y dañinos efectos: (*i*) ciega a las personas, impidiéndoles ver cualquier hecho nuevo que aparezca por bajo de la superficie de las cosas, y bloquea así la consecución de información sugerida por las teorías más profundas; (*ii*) hace perder la oportunidad y la satisfacción de pensamiento nuevo que trae consigo todo nuevo hecho. En razón de (*i*) el descriptivismo se derroca a sí mismo, y en razón de (*ii*) promueve la superficialidad e impide la transformación de la protociencia en ciencia.

La ineptitud del descriptivismo no implica que la ciencia pueda prescindir de la descripción: lo que sí hace es obligarnos a estimarla de otro modo. Se necesitan en la ciencia dos clases de descripción: descripción no-teorética y descripción teorética. Una *descripción no-teorética* es una exposición que no contiene conceptos teoréticos y está formulada en el lenguaje ordinario. Una *descripción teorética* presupone, por el contrario, la aceptación (provisional) de algún conjunto de teorías. En las ramas cuantitativas de la ciencia la descripción teorética se lleva a cabo con la ayuda de leyes de nivel bajo. Así, por ejemplo, el fino pincel de luz que el lego puede describir de forma no técnica, puede describirse por el físico con la ayuda de una ecuación de propagación de la luz. (La explicación –no ya la descripción– exigirá la ecuación misma, que es de nivel alto; para la descripción bastará una solución de la ecuación.) Mientras que la descripción no teorética

afecta siempre a algún hecho singular que se supone real, la descripción teorética se refiere a un modelo conscientemente idealizado de una clase de hechos: la descripción teorética es más hipotética que actual, pues usa enunciados legaliformes y supuestos simplificadores. Aún más: puede decirse que no hay razón para distinguir radicalmente entre descripción teorética y explicación subsuntiva (cf. sec. 9.3). En este sentido la descripción teorética precisa es una clase de explicación.

Eso no anula la diferencia entre descripción y explicación. En primer lugar, la descripción no-teorética (de hechos singulares actuales) se distingue tajantemente de la descripción teorética (de modelos de hechos de una clase). En segundo lugar, la descripción teorética –o, si se prefiere, la explicación subsuntiva– se distingue también de la explicación interpretativa (cf. sec. 9.4). Lo que a menudo se llama *teoría descriptiva* o bien no es una teoría (como, por ejemplo, el programa conductista radical), o bien es una teoría del tipo de la caja negra que suministra explicaciones subsuntivas (como es el caso de la termodinámica). Las teorías propiamente dichas nos permiten realizar, por lo menos, explicaciones subsuntivas, o sea, descripciones teoréticas; las teorías representacionales pueden dar además explicaciones interpretativas.

¿Tiene límites la explicación científica? La idea tradicional es que los hechos pueden clasificarse en explicables e inexplicables: los primeros deben explicarse por causas (planteamiento aristotélico), mientras que los segundos deben temerse o venerarse (Goethe: *das Unerforschliche ruhig verehren*). La opinión hoy dominante es como sigue. Todo, excepto la existencia del universo –que está presupuesta en cualquier pregunta–, es explicable en alguna medida, si no ha sido aún explicado. Unos cuantos hechos pueden explicarse con detalle, la mayoría sólo esquemáticamente, y todo lo que puede explicar la ciencia en un momento dado se explica con ayuda de las teorías y leyes disponibles en ese momento. No toda explicación es causal: hay tantas clases de explicaciones cuantas clases de teorías, y la causación no es sino uno de los determinantes recogidos por las teorías científicas. Los defectos de explicación se deben al conocimiento insuficiente (pero mejorable) de leyes y circunstancias o a dificultades prácticas en la aplicación de teorías básicamente correctas a sistemas de suma complejidad, como, por ejemplo, la fibra de poliéster. En ningún caso queda limitada la explicación por una supuesta opacidad de la realidad a la razón y a la experiencia humanas: en última instancia, como somos una parte de la realidad, tenemos una porción de información "desde dentro" sobre ella. El supuesto de que la naturaleza –y, en menor medida, la cultura– es irracional queda refutado por el progreso de la ciencia. Sólo algunos individuos son irracionales –algunos hasta el punto de buscar razones para justificar el irracionalismo. La verdad es que nunca se consigue una explicación *perfecta* –completa y precisa–; por eso no hay explicaciones *definitivas*. Si recordamos cómo se construyen las teorías (cf. sec. 8.1) admitiremos que esa imperfección es esencial, no circunstancial. Pero al mismo tiempo suponemos que toda explicación puede mejorarse y, en general, que la potencia explicativa de las teorías científicas puede incrementarse sin limitaciones a priori, precisamente porque es posible en principio descubrir los defectos de toda teoría. La posibilidad del progreso queda sugerida por la historia de la ciencia y por el modo como se construyen y examinan críticamente las teorías, pero no hay ninguna ley del progreso científico: no hay más que una tendencia progresiva, y nada garantiza su persistencia.

*Se ha dicho, empero, que en la física no es ya posible ningún progreso básico, que la actual teoría de los quanta es definitiva y que sus limitaciones no son contingentes, sino insuperables. Por ejemplo, las actuales leyes estocásticas seguirán siendo siempre fundamentales, o sea, no serán nunca derivables de leyes más básicas referentes a cosas y acontecimientos de nivel bajo. Esas leyes, por ser estocásticas, no explican acontecimientos y procesos individuales, sino sólo el resultado colectivo de cierto número de tales hechos, por ejemplo, la distribución de manchas en una placa fotográfica sometida a bombardeo por partículas subatómicas difractadas por un cristal. Y como esas leyes son finales, nunca podremos explicar el hecho individual. Consiguientemente, no debemos ya preguntarnos por qué es como es tal o cual hecho individual: esa pregunta carece de sentido. Tal es el tenor de esa proclama del hombre que, incapaz de predecir lo que le ocurrirá a un electrón individual al ser disparado por un sistema difractor, tiene en cambio la sabiduría de predecir que ningún otro hombre en el futuro llegará a conocer lo que él no conoce. Es claro que no conocemos la mayoría de las cosas, e incluso que con nuestras actuales teorías no podemos siquiera plantear ciertos problemas. En cambio, el *ignorabimus* –la tesis de que no sabremos nunca lo que no sabemos ahora– es una profecía peligrosamente infundada. No sabemos si los hechos individuales atómicos y subatómicos se explicarán un día con algún detalle por futuras teorías, pero debemos animar, y no aplastar dogmáticamente, todo intento serio de enriquecer el sistema problemático accesible en el actual marco teorético, especialmente si éste se encuentra agitado por dificultades internas (como las famosas energías infinitas) y no consigue recoger una gran parte del material experimental relativo a las llamadas partículas elementales, las cuales no son probablemente ni elementales ni partículas. Si no esperáramos que esas dificultades se superen un día por una teoría más aproximadamente verdadera, aunque aún incorrecta, más valdría que abandonáramos totalmente la investigación de fundamentos. Por suerte son pocos los que creen en los dogmas que ellos mismos proclaman, porque ellos mismos intentan explicar lo inexplicado.*

La elección ante la cual nos encontramos no es entre explicación completa y exacta (racionalismo ingenuo) y falta completa de explicación (misticismo, escepticismo sistemático y positivismo tradicional), sino entre teorías de diversa potencia explicativa (cf. sec. 9.6). En particular, tenemos que elegir entre contentarnos con teorías fenomenológicas o rebasarlas. Si lo que nos interesa es la verdad nueva y profunda, más que la seguridad, preferiremos las hipótesis, audaces, pero contrastables, sobre "mecanismos" subyacentes a lo observable. Pero esa preferencia por las teorías representacionales está lejos de ser universal: el metacientífico tiene que recomendarla no porque esté de moda –que no lo está en modo alguno en este momento–, sino porque es la más fecunda (cf. 8.5).

Los que sostienen que la explicación científica es intrínsecamente limitada arguyen que ello tiene que ser así forzosamente porque la ciencia no busca más que relaciones y no se pregunta por la naturaleza de sus objetos. Los trascendentalistas añaden que todo objeto tiene una esencia inmutable por debajo de sus propiedades y relaciones, y que las esencias, que se sustraen a la razón igual que a la experiencia, son aprehensibles por medios no-científicos, como la intuición, de la clase que sea. Los fenomenistas se niegan a hablar de esencias simplemente porque éstas no son fenómenos, pero coinciden con los trascendentalistas en que la ciencia se limita al establecimiento de relaciones, entre fenó-

menos o entre rasgos de hechos que son ampliamente observables de modo directo; y que la ciencia no llega nunca a las cosas mismas, las cuales son meras construcciones metafísicas. Esas dos tesis relacionalistas son erróneas y se basan en un análisis superficial de la ley y la teoría científicas, análisis que ignora nada menos que la variable de objeto, o individual, y el conjunto de sus posibles valores (o sea, el universo del discurso).

La ciencia no estudia las propiedades y relaciones en sí mismas, separadas de las cosas y los hechos: lo que se nos da es una visión externa de cosas y hechos enteros, y sólo mediante el análisis y la invención podemos separar sus varios aspectos (variables) y aislar las relaciones invariantes entre ellos (leyes). Cualesquiera que sean las relaciones que se establezcan entre propiedades (variables) en la ciencia factual, esas propiedades *refieren* siempre a algún sistema concreto. (Cf. secs. 7.1 y 8.4.) Esto se da por supuesto en los contextos científicos, en los que se escribe, por ejemplo, '$R = kS^p$' (la ley básica psicofísica) en vez de 'Para todo x, si x es un organismo sujeto al estímulo S, entonces s reacciona con la intensidad $R(x) = kS(x)^p$'. La presencia tácita de la variable individual x puede confundir al lego, haciéndole creer que se está pensando en una fantasmal relación entre variables; pero el filósofo debe precisar interpretativamente qué es lo que está diciendo el científico. En segundo lugar, la ciencia no sabe, ciertamente, nada de esencias ideales, ni de esencias reales, inmutables y últimas –pero inescrutables. Mas ¿cómo va a ser eso un defecto? En todo conjunto de propiedades podemos reconocer en principio las que son de origen y las que se derivan de ellas; cosa análoga puede decirse de la leyes. En la ciencia las esencias no se conciben como las almas de las cosas, sino como ciertas propiedades y leyes, a saber, como las propiedades y leyes que, en una teoría dada, son fundamentales a un determinado nivel. Por eso el calificativo 'esencial' –aplicado a variables y a leyes– puede hallarse en la literatura científica, mientras que el nombre 'esencia' en su sentido metafísico no se hallará en esas publicaciones. La ciencia no utiliza, pues, la explicación metafísica a base de esencias; pero a veces da con propiedades y leyes que pueden considerarse *esenciales a un nivel dado* (no esenciales en un sentido absoluto) mientras no se muestre lo contrario. Así, por ejemplo, el número atómico es una propiedad esencial al nivel químico, pero la teoría del núcleo tiene como tarea el dar razón de ese concepto a base de propiedades aún más profundas que no interesan en primer término al químico, porque no se manifiestan tampoco directamente en el nivel químico.

Concluyamos. Pese a las prohibiciones dictadas por los filósofos de la confesión descriptivista, los científicos no han dejado nunca de preguntarse por-qués ni de darles respuesta, o sea, no han dejado nunca de ofrecer explicaciones subsuntivas e interpretativas. Pero, a diferencia de los filósofos tradicionales, los científicos no suelen pretender que sus explicaciones –o, al menos y en cualquier caso, las de sus colegas– sean definitivas: generalmente reconocen que toda explicación *tiene forzosamente* que ser *defectuosa, porque se construye con teorías imperfectas, con hipótesis simplificadoras* subsidiarias y con información más o menos inexacta. Al mismo tiempo, los científicos suelen tener confianza en la perfectibilidad ilimitada del ámbito, la precisión y a veces incluso la profundidad de las explicaciones científicas.

El principal motivo de esa búsqueda de explicación corregida y perfeccionada, de esa búsqueda de teorías de potencia explicativa creciente, es que toda nueva explicación amplía el horizonte de lo conocido y el alcance de la razón. Podemos decir incluso que la expli-

cación es la que efectivamente consuma la unión de la razón con la experiencia, puesto que la explicación es una argumentación lógica que requiere datos empíricos y generalizaciones empíricamente contrastadas o, por lo menos, contrastables. Además, toda nueva explicación aumenta la sistemicidad de nuestro conocimiento, porque transforma el dato aislado o la generalización suelta en una pieza de un todo conceptual. Consiguientemente, pedir la supresión de la explicación científica, o incluso su restricción a la explicación subsuntiva, es más o menos como matar la gallina de los huevos de oro de la ciencia.

Problemas

9.7.1. Discutir las tesis del descriptivismo expuestas en algunas de las obras siguientes: (*i*) G. R. Kirchhoff, *Vorlesungen über mathematische Physik: Mechanik*, Leipzig, Teubner, 1883, pp. iii y 1. (*ii*) E. Mach, "Beschreibung und Erklärung", en *Populär-Wissenschaftliche Vorlesungen*, 4a. ed., Leipzig, Barth, 1910. (*iii*) P. Duhem, *La théorie physique*, París, Rivière, 1914, parte I. (*iv*) K. Pearson, *The Grammar of Science*, 3a. ed., Londres, Adam and Charles Black, 1911, p. v. (*v*) L. Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, Nueva York, Macmillan, 1953,I, p. 47. (*vi*) P. Frank, *Philosophy of Science*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1957, p. 23. El programa de Kirchhoff para la mecánica, ampliado por él mismo a la electrodinámica, era "describir los movimientos naturales completamente y del modo mas simple" (*op. cit.*, p. 1).

9.7.2. Indicar las diferencias entre las siguientes proposiciones. (*i*) "Si dos trozos de papel metalizado se tocan con una varilla de vidrio, previamente frotada con piel, se separan." (*ii*) "Dos cuerpos cargados de electricidad procedente de un tercer cuerpo se repelen entre sí."

9.7.3. ¿Habría propuesto Darwin su teoría de la evolución por selección natural si no hubiera intentado explicar los parecidos (como parentesco)? *Problema en lugar de ése*: Examinar los límites de la explicación científica según E. Mach, *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872; trad. inglesa, Chicago, Open Court, 1911, p. 55. (Tesis: la explicación no puede llevarse más allá de los elementos simples en que resuelve al explanandum.)

9.7.4. Examinar la defensa de la explicación metafísica o "concreta" (opuesta a la científica o "abstracta") que suministra la empatía. Estimar sus pretensiones de validez y establecer su relación con la simpatía universal de las doctrinas hermética y estoica, así como con la comprensión simpatética (empatía, *Verstehen*) de W. Dilthey, R. G. Collingwood y otros intuicionistas. Averiguar si esos filósofos utilizan 'explicación' en sentido lógico o en sentido psicológico. Cf. H. Bergson, *L'évolution créatrice*, 1907; París Presses Universitaires de France, 1948, p. 177, y M. Bunge, *Intuición y razón*, Buenos Aires, Sudamericana, 1996, y *Finding Philosophy in Social Sciences*, New Haven CT, Yale University Press, 1996 [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

9.7.5. Entre los naturalistas y los historiadores está bastante difundida la convicción de que la descripción o la narración son más importantes, o, al menos, metodológicamente anteriores a la explicación, o sea: que no puede darse respuesta a ningún *por qué* mientras no estén seguros todos los *cómos*. Discutir esa opinión en relación con la selección de evidencia y su interpretación, interpretación que por fuerza realiza hasta el más candoroso coleccionista de hechos.

9.7.6. Comparar las descripciones siguientes: (*i*) "Las sustancias A y B reaccionan y dan lugar a las sustancias C y D, o sea: $A + B \to C + D$". (*ii*) "sea A un gas monoatómico que reacciona con un gas diatómico, cada una de cuyas moléculas tiene la composición B-C, en la que 'B' y 'C' simbolizan los átomos componentes y '-' el vínculo entre ellos. Cuando A se acerca a B-C se produce

una interacción y se constituye un complejo intermedio de corta vida, *A*...*B*...*C*. El vínculo *A*-*B* puede predominar, y surge la nueva molécula *A*-*B*, mientras *C* queda libre. La reacción final es, pues, $A + (B - C) \rightarrow (A - B) + C$".

9.7.7. Una serie de observaciones practicadas para contrastar una tesis parapsicológica, si se realiza con el mínimo de cuidado exigible, se basará en hechos objetivos referentes al comportamiento del sujeto, como, por ejemplo, la inscripción por éste de una serie de señales convencionales. El parapsicólogo y el psicólogo pueden coincidir en la descripción del comportamiento externo del sujeto. ¿Coincidirán por ello necesariamente en la interpretación (explicación) del mismo? ¿Y tendría importancia el que no coincidieran? *Problema en lugar de ése*: En 1776, Priestley consiguió, por suerte, el sorprendente descubrimiento de que el carbón de leña es un excelente conductor de la electricidad. Esta generalización empírica y otras que se descubrieron a continuación –por ejemplo, que la conductividad del carbono aumenta con la temperatura– quedaron sin explicar hasta la década de 1950, cuando se aplicó la teoría de los *quanta* a los semiconductores. El propio Priestley intentó explicar su descubrimiento pero sin conseguirlo. Leemos en Joseph Priestley: *Selection from his Writings*, University Park, Pa., Pennsylvania State University Press, 1962, p. 229: "Pero, a pesar de que yo no he tenido éxito, no tengo la menor duda de que toda persona de normal sagacidad que tenga la oportunidad de hacer experimentos en un laboratorio en el que pueda reducir a carbón toda clase de sustancias y por todos los métodos, podrá muy pronto averiguar qué es lo que hace del carbón de leña un conductor de la electricidad." ¿Disponía Priestley de una buena estrategia, o sea, tenía razón al esperar que operaciones puramente empíricas suministraran la explicación que se necesitaba?

9.7.8. ¿Rechaza la ciencia las explicaciones a base de entidades y propiedades ocultas? Si no, ¿cuál es la diferencia entre la ciencia moderna y la escolástica, o incluso las "ciencias" ocultas, como la astrología y la parapsicología? Empiécese por especificar qué debe entenderse por 'oculto': ¿no directamente observable o inescrutable (o sea, perteneciente a hipótesis que no son sometibles a contrastación)? *Problema en lugar de ése*: Los agnósticos y los escépticos sostienen que la explicación tiene límites insuperables. Muchas veces sus motivaciones, lejos de ser oscurantistas, son ilustradas; pues, por lo general, se oponen a las pretensiones de la especulación no científica, como el vitalismo, que afirma conocer la esencia de la vida. Hacer un estudio del agnosticismo y el escepticismo como crítica de la especulación acientífica.

9.7.9. El *principio de razón suficiente* puede concebirse como una hipótesis programática que afirma que todo es explicable (en principio). Formular, ilustrar y analizar el principio y averiguar si es lógico, epistemológico u ontológico, o si puede formularse en todas y cada una de esas fórmulas. Cf. M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1996, y consultar la bibliografía citada en él.

9.7.10. Esbozar una exposición de la explicación filosófica. Tener en cuenta que las generalizaciones supuestas por la explicación filosófica parecen caer en las siguientes categorías: (*i*) generalizaciones arbitrarias de nivel alto, que no pueden relacionarse con fórmulas contrastables; (*ii*) generalizaciones inductivas tomadas del conocimiento ordinario o el científico y promovidas al rango de principios; (*iii*) principios regulativos, propuestas y normas. *Problema en lugar de ése*: Analizar el concepto de explicación última. Recordar que los aristotélicos creían que tenían la explicación última de todo hecho a base de las cuatro causas, los newtonianos lo mismo, pero a base de las leyes mecánicas más la gravitación, y que los optimistas de nuestros días siguen creyendo que casi todo hecho físico tiene su explicación última en las leyes de la electrodinámica cuántica.

BIBLIOGRAFÍA

Agazzi, E. (comp.). *The Problem of Reductionism in Science*, Dordrecht, Kluwer, 1991.

Borger, R., y F. Cioffi (eds.), *Explanation in the Behavioural Sciences*, Londres, Cambridge University Press, 1970.

Braithwaite, R. B., *Scientific Explanation*, Cambridge, Cambridge University Press, 1953. Traducción castellana, Madrid, 1965.

Bunge, M., *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997.

——, *Materialismo y ciencia*, Barcelona, Ariel, 1981.

——, "Mechanism and Explanation", *Philosophy of the Social Sciences*, *27*:410-465, 1997.

Campbell, N., *What is Science?*, 1921, Nueva York, Dover Publications, 1952.

Craik, K. J. W., *The Nature of Explanation*, Londres, Cambridge University Press, 1952.

Feigl, H., y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, III, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962. Sobre todo "Explanation, Reduction, and Empiricism", por P. K. Feyerabend, "Deductive-Nomological vs. Statistical Explanation", por C. G. Hempel, "Explanations, Predictions, and Laws", por M. Scriven, y "Explanation, Prediction, and 'Imperfect' Knowledge", por M. Brodbeck.

Gardiner, P., *The Nature of Historical Explanation*, Oxford, Oxford University Press, 1952.

——, *Theories of History*, Glencoe, Ill., The Free Press, 1959, especialmente ocho artículos sobre la explicación histórica.

Harvey, D., *Explanation in Geography*, Londres, Edward Arnold, 1969.

Hempel, C. G., *Aspects of Scientific Explanation*, Nueva York, Free Press, 1965.

Körner, S. (ed.), *Explanation*, Oxford, Blackwell, 1975.

Mill, J. S., *A System of Logic*, 8a. ed., 1875; Londres, Longmans, Green, 1952. Libro III, caps. XI-XIV.

Nagel, E., *The Structure of Science*. Nueva York y Burlingame, Harcourt, Brace & World, 1961, cap. 2., traducción castellana, Buenos Aires, 1968.

Pap, A., *An Introduction to the Philosophy of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, caps. 18 y 19.

Popper, K. R., *The Logic of Scientific Discovery*, 1935; Londres, Hutchinson, 1959, secc. 12, traducción castellana, Madrid, 1962.

——, "The Aim of Science", *Ratio*, *1*, 24, 1957.

Symposia of the Society for Experimental Biology, núm. XIV; *Models and Analogues in Biology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1960.

10. PREDICCIÓN

Las previsiones son respuestas a preguntas de la forma '¿Qué ocurrirá a *x* si se produce *p*?', '¿Cuándo se producirá *x* si se cumple *p*?' y otras análogas. Es corriente en la literatura científico-filosófica llamar a esas respuestas *predicciones*. Las predicciones se consiguen mediante teorías y datos: la predicción científica es en efecto una aplicación de la teoría científica. La predicción interviene por tres razones en el cuadro general de la ciencia: (*i*) *anticipa* nuevo conocimiento y, por tanto, (*ii*) es una *contrastación* de la teoría y (*iii*) una *guía* para la acción. En este capítulo nos ocuparemos de las funciones puramente cognoscitivas de la predicción, o sea, con lo que tiene de visión anticipada. En el capítulo 15 nos ocuparemos del aspecto metodológico de la predicción (que es su función de contraste), y en el capítulo siguiente atenderemos a su aspecto práctico (planeamiento).

10.1. PROYECCIÓN

Los conceptos de predicción y retrodicción pertenecen a la familia de ideas presidida por las nociones de anticipación y retrospección. Vale la pena distinguir los siguientes miembros de esa familia: (*i*) *expectativa* (en el sentido subjetivo de esa palabra), que es una actitud automática de anticipación que se encuentra en todos los animales superiores; (*ii*) *conjetura*, intento consciente –pero no racionalmente justificado– de representarse lo que es, fue o será, sin fundamento de ninguna clase; (*iii*) *profecía*, o conjetura en gran escala, basada en el supuesto fundamento de la revelación o de otra fuente esotérica "ciencia" oculta, "leyes" históricas nunca contrastadas, carismas de los jefes, etc.; (*iv*) *prognosis*, o conjetura informada, o predicción de sentido común, que es una previsión basada en generalizaciones empíricas más o menos tácitas; y (*v*) *predicción* (o *retrodicción*) científica, que es una previsión (o retrovisión) basada en teorías y datos científicos (o tecnológicos).

La expectativa es la base biológica de la predicción. Los animales obran con ciertos objetivos, el más alto de los cuales es la autoconservación de la especie. Los animales adaptan su comportamiento a un conjunto fijo de objetivos y a circunstancias que varían; y los animales superiores se adaptan en alguna medida con base en anteriores experiencias: tienen expectativas o anticipaciones de varias clases. Un perro al que se muestre el collar y la correa puede excitarse intensamente ante la perspectiva de un paseo. El animal está condicionado: ha aprendido a asociar automáticamente la correa con el paseo, y se alegra por anticipado; la asociación y la expectativa resultante se disiparán si se engaña repetidamente al animal. Los animales prehumanos tienen los objetivos insertos ya en el organismo por la selección natural y, por lo que sabemos hasta el momento, la adaptación de su comportamiento a la consecución de sus objetivos es completamente automá-

tica. Sólo el hombre puede llegar a tener una consciencia plena de algunos objetivos, alterarlos deliberadamente en alguna medida y arbitrar los medios más adecuados para conseguirlos: lo cual supone la predicción. Hablando el lenguaje de la biología, puede, pues, decirse que la predicción tecnológica es el tipo más alto de adaptación: mediante ella el hombre se adapta anticipadamente a las nuevas condiciones que él mismo configura. Pero la predicción científica no cumple ninguna función biológica o, por lo menos, no lo hace directamente: satisface nuestra curiosidad y convalida o refuta pretensiones de conocimiento.

La única superioridad de la conjetura sobre la expectativa es que la primera es una operación consciente; pero carece total o casi totalmente de fundamento, mientras que la expectativa arraiga en reflejos y tiene mayor probabilidad de éxito. La conjetura es en el mejor de los casos un intento no justificado racionalmente, sino meramente justificable a falta de conocimiento: puede tener éxito, sobre todo cuando las posibilidades son escasas e igualmente plausibles. La conjetura puede ser un juego divertido, un mal menor o una superstición peligrosa que aparte a la gente del honrado y duro trabajo científico. Toda la previsión conseguible se logra a base de la visión del presente y la retrovisión del pasado; y sin conocimiento propiamente dicho no podemos ni saber qué y cuáles son las presentes circunstancias. Por lo demás, ni siquiera la previsión fundada pasa de ser, en el mejor de los casos, probable. La creencia en la posibilidad de un conocimiento anticipativo sin disponer de previo conocimiento es un mero resto de pensamiento mágico. Hay sin duda procedimientos que dan información de ciertas clases y que pueden calificarse de conjeturas, como, por ejemplo, las divisiones sucesivas de un conjunto en subconjuntos complementarios hasta llegar al conjunto o al individuo que se busca (cf. los planteamientos arborescentes de la sec. 1.3). Pero se trata siempre de técnicas de planteamiento, ninguna de las cuales da conocimiento partiendo de la ignorancia, ni suministra conocimiento del futuro.

Las profecías, o conjeturas de gran escala como las del *Apocalipsis*, las de Nostradamus y las de ciertos políticos, son tan infundadas como las conjeturas. Pero también ellas pueden frecuentemente acertar, y sólo al lego le asombrará ese éxito. Para tener un espectacular éxito le basta a la profecía con ser obvia, vaga o ambigua, o sea, con evitar rigurosamente el ser exacta y, por consiguiente, estar sometida a riesgos. Los gitanos –las gitanas– son especialistas en profecías obvias ("Hará un viaje", "Tendrá una carta") y vagas ("Un día le ocurrirá una cosa maravillosa", "Le esperan grandes preocupaciones"). Por lo que hace a la ambigüedad, es sabido el modo como han descollado en ella los oráculos. Cuando Creso preguntó al oráculo de Delfos qué ocurriría si atacaba a los persas la respuesta fue: 'Un gran reino será destruido'. Creso no se dio cuenta de la ambigüedad de la sentencia y atacó: un reino –el suyo– quedó destruido, como estaba profetizado.

Las prognosis, o previsiones de sentido común, son de naturaleza muy distinta: se basan en generalizaciones y tendencias. La previsión del tiempo hecha por el campesino experimentado, la opinión del entendido sobre las carreras de caballos y el pronóstico del médico práctico se basan en determinadas generalizaciones empíricas, aunque éstas no se expliciten siempre. A veces la anticipación es una mezcla de profecía y prognosis. Tal es el caso de las previsiones de ficción científica hechas por escritores bien informados, como Verne o Wells. La conjetura y la profecía dan enunciados *incondicionales* de la forma

'ocurrirá *P*'. En cambio las prognosis son *condicionales* o enunciados hipotéticos de las formas 'Como ocurre *C*, ocurrirá o (puede ocurrir) *P*', o bien 'Si ocurre *C* ocurrirá (o puede ocurrir) *P*'. O sea, mientras el profeta y la gitana, el político y el psicólogo precientíficos afirman *que ocurrirá P*, el práctico serio de cualquier oficio dirá prudentemente que *si C ocurre* (o puesto que *C* ha ocurrido), *P* ocurrirá o puede ocurrir. Su previsión es condicional, pero tiene algún fundamento –aunque sea débil–, y ese fundamento suele ser una generalización empírica sobre la conjunción regular o, al menos, la sucesión de los hechos, como por ejemplo: "Si se encuentra con *x*, *y* hará *z*."

Por último, la predicción científica es tan condicional como la prognosis de sentido común, pero más afinada que ésta. En la predicción científica las generalizaciones usadas son *explícitas*, no tácitas, y son leyes o teorías; en cuanto a los datos, pueden comprobarse y mejorarse si hace falta por medio de técnicas científicas. Las generalizaciones mismas pueden haber sido conjeturadas, pero los datos tienen que ser propiamente tales, generalmente además comprobados, y la derivación del enunciado predictivo tiene que ser una pieza de trabajo racional. Por ejemplo, para prever (o retrodecir) lo que ocurrirá (u ocurrió) con la presión de un gas al disminuir su volumen en la mitad, podemos apelar a la ley "presión + volumen = constante", para inferir que la presión aumentará (o aumentó) hasta el doble. La predicción (o retrodicción) será en este caso la argumentación siguiente:

$$\{p_1 V_1 = p_2 V_2,\ V_2 = V_1/2\} \vdash (p_2 = 2p_1)$$

Las premisas de la argumentación son el enunciado de una ley –a saber "$p_1 V_1 = p_2 V_2$"– y algo de información sobre las circunstancias específicas, a saber, que el volumen del gas en el estado 2 (futuro o pasado) es la mitad de su volumen en el estado 1 (presente). En este caso particular el estado 2 puede ser posterior o anterior al estado 1 y, por tanto, la inferencia respecto del futuro es lo mismo que la inferencia respecto del pasado. Esto se debe a que el proceso supuesto para el ejemplo es un proceso plenamente reversible; dicho de otro modo: la ley de los gases ideales es independiente del tiempo, invariante, pues, respecto del intercambio entre futuro y pasado; la retrodicción hecha sobre su base no puede diferir por tanto de la predicción. Pero en general dos proyecciones, la que se orienta al futuro y la que mira al pasado, no coincidirán (cf. sec. 10.2).

El anterior ejemplo presenta las características esenciales de la proyección científica (predicción o retrodicción): (*i*) es *condicional*, en el sentido de que dice lo que ocurrirá (o puede ocurrir), o cuándo ocurrirá (o puede ocurrir) algo *si* se "cumplen" tales y cuales leyes y se dan tales y cuales circunstancias; (*ii*) es *teorética*, o nomológica, o sea, utiliza enunciados de leyes que, dicho sea de paso, no tienen por qué contener necesariamente la variable temporal; (*iii*) se refiere consiguientemente a conjuntos de *propiedades*, de cosas y acontecimientos, no a cosas y acontecimientos en su totalidad; y (*iv*) puede ser tan *exacta* cuanto lo sea nuestro conocimiento de las leyes y las circunstancias, mientras que las profecías son intrínsecamente indeterminadas y las prognosis pueden ser exactas, pero sin que existan medios para perfeccionar su exactitud o precisión, como no sea el de sustituirlas por predicciones científicas hechas con enunciados legaliformes rectificables y con datos. El sello de la predicción científica es la mejorabilidad de su exactitud, no la

exactitud mera: esa predicción puede ser tan precisa como lo es en astronomía (cf. fig. 10.1) o puede consistir en groseras estimaciones aproximativas, como las que son frecuentes en las ciencias del comportamiento. Lo relevante no es que la predicción científica sea precisa en sentido absoluto, sino el hecho de que tiene fundamento y, por eso mismo, puede perfeccionarse.

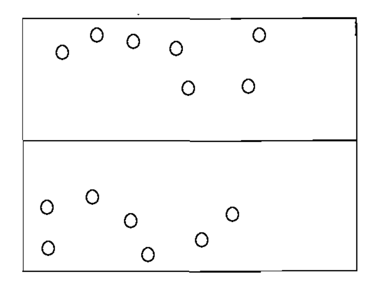


FIGURA 10.1. La constelación de la Osa Mayor actualmente (arriba) y dentro de 100 siglos (abajo).

La estructura lógica de la proyección es, pues, la misma que tiene la explicación, a saber, la de una *inferencia deductiva a partir de leyes y datos:*

$$\{Ley\ (es),\ Circunstancia\ (s)\} \vdash Proyectandum$$

Las premisas de la argumentación pueden llamarse *premisas del proyectans* y la conclusión *proyectandum* (lo predicho o retrodicho). Predicción (o retrodicción) se llama, unas veces, a la argumentación o inferencia, y otras veces a su conclusión. El nombre no tiene importancia siempre que se distingan los conceptos, y no se confunda la inferencia (o argumentación) predictiva con la proposición predictiva, que es la conclusión de ese razonamiento. Aunque la predicción no difiere lógicamente de la explicación se diferencia de ella en otros respectos. Para empezar, el proyectandum no es una proposición cualquiera, sino una proposición singular con referencia factual, y nunca un enunciado legaliforme. Consiguientemente, los enunciados legaliformes que se presenten en el proyectans (en las premisas) serán siempre leyes de *nivel bajo.* Por ejemplo, para predecir el tiempo que tardará un proyectil en recorrer su trayectoria no usaremos las ecuaciones del movimiento de ese proyectil, sino ya una solución de las mismas. En la sec. 10.5 volveremos a hablar de las diferencias extralógicas entre la proyección y la explicación.

Para familiarizarnos con la proyección científica examinaremos algunos ejemplos de ella; el primero utilizará algo de conocimiento geológico. En 1820 se perdieron en un glaciar del Mont Blanc tres alpinistas, y se predijo que 40 años más tarde se hallarían sus cadáveres al pie del glaciar: así ocurrió. La generalización implicada por aquella predicción es que la velocidad del glaciar era constante y de unos 74 metros por año; los datos circunstanciales eran en este caso la localización aproximada de los cadáveres. La predicción era, naturalmente, del mismo tipo que las que hacemos respecto a horas de llegada cuando viajamos en automóvil. La proyección habría fracasado si la información hubiera sido falsa o si la velocidad de deslizamiento del glaciar se hubiera alterado de un

modo importante a consecuencia de algún cambio climático. Este último riesgo, el del posible cambio en el ritmo de algunas características del proceso, es peculiar a la predicción y no se da en la explicación.

Nuestro segundo ejemplo procede de la óptica. Supongamos que deseamos predecir la trayectoria de un rayo de luz que entra en la atmósfera horizontalmente. Para conseguirlo procedemos de un modo que es típico de la ciencia: empezamos por construir un *modelo ideal* de nuestro objeto (la atmósfera de la Tierra) y elegimos una teoría para manejar el modelo. Como primera aproximación bastará el modelo de la atmósfera constituido por un conjunto de tres capas de aire horizontales (cf. fig. 10.2). Luego supone-

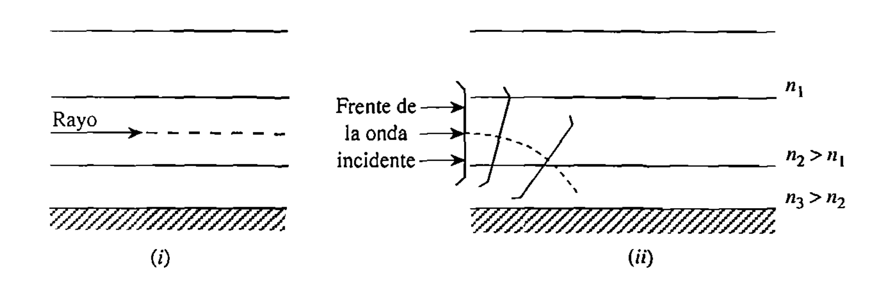


FIGURA 10.2. La trayectoria de la luz en una atmósfera de tres estratos horizontales, (*i*) según la óptica del rayo de luz, (*ii*) y según la óptica ondulatoria.

mos que la capa intermedia tiene un índice de refracción también intermedio entre el máximo del estrato inferior y el mínimo del estrato superior. Esos supuestos son, desde luego, hipótesis simplificadoras, casi ficciones que posibilitan la aplicación de una teoría sencilla. Ese modelo bastaría para una *predicción cualitativa*; una predicción cuantitativa exigiría un modelo más realista, aunque todavía ideal, porque supondría, por ejemplo, la esfericidad perfecta de la Tierra. Luego empezamos por aplicar al modelo la teoría óptica más simple, que es la óptica del rayo de luz; según esa teoría, un rayo de luz que viaje horizontalmente seguirá haciéndolo, porque en esa dirección el índice de refracción es constante y la luz no existe sino a lo largo del rayo. Pero, como sabemos, la observación no confirma esa predicción: en realidad nuestro "rayo" de luz se curva hacia abajo, cosa que, dicho sea de paso, es contraintuitiva cuando estamos acostumbrados a concebir la luz como compuesta de rayos o corpúsculos. En cambio, cualquier teoría ondulatoria de la luz podrá predecir la curvatura hacia abajo, simplemente porque el índice de refracción cambia según la vertical. Las porciones superiores del frente incidente de la onda luminosa viajarán más deprisa que las porciones inferiores, y como la trayectoria (rayo) es perpendicular al frente de la onda, el rayo de luz se curvará hacia abajo, o sea, hacia la región de índice de refracción más alto. Una vez conseguida la proyección cualitativa se intentará una *proyección cuantitativa*, para lo cual se irá complicando paso a paso el modelo inicial de la atmósfera.

A propósito de la atmósfera, hay que decir que el rápido progreso de la teoría meteorológica está dejando anticuadas nuestras tradicionales bromas sobre los servicios me-

teorológicos. El paso de la meteorología desde el estadio empírico hasta el teorético tiene como consecuencia el paso de la prognosis empírica a la predicción teorética. Las previsiones empíricas del tiempo se basan en generalizaciones empíricas sobre todo referentes a la distribución de la presión atmosférica y a los tipos de nubes. Es sin duda el método menos complicado y resulta bastante seguro para previsiones a plazo breve. Pero la meteorología está abandonando ese planteamiento empírico y fenomenológico y empieza a considerar la presión y el tipo de nubes como síntomas que hay que explicar a base de variables internas. La meteorología está empezando a enfrentarse con los mecanismos del tiempo atmosférico (por ejemplo, con los mecanismos de la formación de nieve y granizo) y está analizando las direcciones de desplazamiento del tiempo atmosférico y los cambios que se producen a lo largo de su ruta, viéndolos como resultados a gran escala de acontecimientos a pequeña escala. Dicho brevemente: mientras que la meteorología clásica no tenía nada que ver con la física, la meteorología contemporánea se plantea como una física del sistema atmósfera-océanos. Al abandonar el planteamiento fenomenológico ha ganado en consistencia externa y en profundidad, y está consiguiendo reglas fundadas y de confianza para la previsión del tiempo atmosférico.

En el nivel siguiente, que es el de la química, hallamos problemas de predicción como éste: dadas las clases y cantidades de reactivos, así como las condiciones físicas –como la temperatura y la presión–, predecir las reacciones que pueden tener lugar y, si es posible, los tiempos que tardarán en completarse. El problema inverso, de retrodicción, consistiría en averiguar cuáles fueron los agentes físicos y las condiciones físicas iniciales, dados los productos finales de la reacción, y éste es realmente un problema difícil. Otro problema típico de la química es el siguiente: Predecir si una fórmula dada corresponderá a un compuesto estable obtenible en el laboratorio. Rara vez se resuelven hoy día con precisión problemas de esa naturaleza, a causa del estado aún inmaduro de la teoría química. El químico, como el biólogo, puede aún conseguir descubrimientos importantes con mucho olfato y poca teoría, y ello, naturalmente, no porque la intuición sea una guía mejor que el cálculo, sino porque la teoría disponible es aún insuficiente para dar comprensiones intuitivas y proyecciones exactas. Un caso verdaderamente espectacular fue el descubrimiento (1962), imposible según la teoría hoy disponible, de que los gases "nobles" pueden formar compuestos estables, como el tetrafluoruro de xenon. La teoría de la combinación química vigente en aquel momento predecía que no existirían compuestos tales, y daba además sus buenas razones en favor de esa tesis. Por lo demás, la elección del flúor en la investigación acerca de los compuestos de gases nobles no fue casual ni accidental: se eligió porque se sabía que el flúor es el más reactivo de todos los elementos, de modo que si los gases "nobles" eran realmente capaces de reaccionar con algo, se combinarían con el flúor. Puede por tanto decirse que ese descubrimiento estuvo precedido por una prognosis semicientífica, estimulada en parte por una duda heterodoxa sobre la perfección última o definitiva de la teoría de las combinaciones químicas tal como se encontraba en aquel momento a disposición del científico.

En las ciencias que estudian los niveles superiores de la realidad se tiene también actualmente un progreso de la predicción, pero en muchos terrenos de esas ciencias sigue siendo una actividad muy imprecisa, no digna de confianza, y a veces hasta imposible. Los filósofos anticientíficos han proclamado que esas dificultades son intrínsecas al

tema; por ejemplo, que la predicción biológica es imposible porque los procesos vitales son espontáneos e indeterminados. No se han cumplido esas tenebrosas profecías: la predicción precisa es posible en la fisiología y la genética; otras predicciones menos exactas son posibles en ecología, y aun mucho más imprecisas en la teoría del aprendizaje; el mínimo de precisión se encuentra en la psicología social. Pero en algunos campos en los que hace pocos años no eran posibles más que previsiones cualitativas se están haciendo ya predicciones cuantitativas, y se tienen otras cualitativas nuevas en terrenos en los cuales, por falta de teoría, no se contaba hasta hace muy poco con ninguna posibilidad de previsión. Cuanto más madura es una ciencia –cuanto más ricas y mejor confirmadas son las teorías que contiene–, tanto más precisas son las predicciones que permite, y tanto más puede aprender de sus fracasos y de sus éxitos al proyectar. Mientras que la pseudociencia y la protociencia no hacen proyección alguna o bien formulan profecías irrefutables no basadas en ningún fundamento claro, la ciencia madura presenta los fundamentos de sus predicciones –que son datos y leyes– y puede por tanto corregirlos o incluso abandonarlos si le llevan a proyecciones falsas. Consiguientemente, no hay motivo para ser pesimistas en lo que hace al futuro de la proyección científica en las ramas de la ciencia hoy día aún subdesarrolladas, sobre todo si tenemos presente que no toda predicción científica es del tipo de la astronómica, como veremos en la sección siguiente.

Problemas

10.1.1. Examinar el tratamiento del sueño profético por Aristóteles y compararlo con su estudio por Freud. Cf. "De divinatione per somnium": Obsérvese sobre todo que Aristóteles desconfía de la oniromancia porque no puede encontrar ninguna explicación de la misma, y no encuentra explicación porque no hay mecanismo que parezca concebible "el no ver causa probable de esa adivinación tiende a inspirarnos desconfianza".

10.1.2. Analizar el ensayo "On Prophecies", de F. Bacon, incluido, por ejemplo, en la edición *The Essays of Francis Bacon*, Londres, Thomas Nelson, s.f. Bacon mantiene en ese texto que "la mayoría de las profecías han sido imposturas, inventadas y fingidas después de los hechos por cerebros perversos y ociosos", y que el crédito de que disfrutan algunas profecías se debe en parte al hecho de que "los hombres recuerdan cuando han acertado, y nunca cuando han errado" (pp. 179-180).

10.1.3. Examinar las profecías de bonanza o de crisis que suelen hacer los economistas. Véase M. Bunge, *Economía y filosofía*, Madrid, Tecnos, 1982.

10.1.4. Sabiendo que una persona es un hábil calculador podremos predecir que será capaz de resolver un determinado problema aritmético. Eso puede incitarnos a concluir que las predicciones no requieren siempre generalizaciones. ¿Es correcta esa inferencia?

10.1.5. Proponer ejemplos de predicción científica, cualitativa y cuantitativa, y precisar qué podría falsearlas y cómo podrían perfeccionarse. *Problema en lugar de ése*: Examinar cómo predicciones sin éxito se reinterpretan a veces como confirmaciones de una teoría. Cf., por ejemplo, C. E. Osgood, *Method and Theory in Experimental Psychology*, Nueva York, Oxford U. P., 1953, pp. 370ss.

10.1.6. La mayoría de los análisis de la predicción suponen que la predicción exige leyes que contengan la variable tiempo (por ejemplo, ecuaciones diferenciales con el tiempo como variable independiente). Buscar contraejemplos y explicar el origen de la falacia. Cf. M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 12.

10.1.7. Estudiar el aspecto pragmático de la predicción, o sea, contemplarla como una actividad realizada antes de que ocurra el acontecimiento predicho, actividad que necesita su tiempo y se lleva a cabo con una determinada finalidad. Tener en cuenta el caso en el cual la operación predictiva ocupa más tiempo que el acontecimiento predicho.

10.1.8. Analizar las previsiones referentes al mercado y, sobre todo, analizar los fundamentos con base en los cuales dan sus dictámenes los consejeros de inversiones: establecer si obran a base de predicciones y, si tal es el caso, sobre qué base.

10.1.9. Estimar la tesis según la cual ciertos privilegiados sujetos tienen la facultad de precognición, ya porque infieren los acontecimientos futuros contemplando ciertos hechos presentes (éste sería el caso de los augures y oráculos), ya porque vean el futuro directamente (como los visionarios de que hablan los parapsicólogos). *Problema en lugar de ése*: Prevemos acontecimientos que acaso tengan lugar en el tiempo o dentro de un determinado intervalo temporal. ¿Sería posible prever los instantes o intervalos temporales mismos?

10.1.10. ¿Puede decir la predicción algo acerca de la estructura de una teoría, como sostiene G. Ryle en "Predicting and Inferring", en S. Körner, *Observation and Interpretation*, Londres, Butterworths, Nueva York, Academic Press, 1957?

10.2. PROYECCIÓN ESTOCÁSTICA

La proyección menos precisa es la mera *enumeración de posibilidades*, a condición de que no sean simples posibilidades lógicas, como en el caso de la profecía super-cauta: "Habrá guerra o no habrá guerra". Supongamos que un sistema (una molécula, una persona, un grupo social) se encuentra actualmente en el estado 1, y que todo lo que podemos prever dentro de una dada unidad de tiempo es que durante ese lapso el sistema se mantendrá en el estado 1 o pasará a los estados 11 o 12 (cf. fig. 10.3). Admitamos que también podamos suponer que si el sistema pasa al estado 11, entonces, al cabo de otra unidad de tiempo se mantendrá en ese estado o pasará de un salto al estado 111 o al esta-

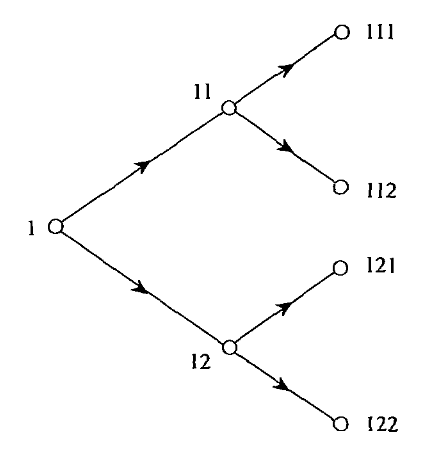


FIGURA 10.3. Ramificación de posibilidades.

do 112; y cosa análoga por lo que hace al estado 12. La descripción de un tal árbol de posibilidades (físicas) es todo lo que podemos conseguir en muchas situaciones de la vida cotidiana y de las ciencias sociales. (Prima facie, las proyecciones de esta clase no son susceptibles de contrastación, pero esa impresión es falsa: el sistema puede saltar de cualquiera de los estados descritos a otro nuevo e imprevisto, lo cual refutaría la previsión acerca del árbol de posibilidades.) Aunque cualitativa, una tal predicción será científica si las transiciones posibles se presentan con base en enunciados de leyes.

Viene luego la proyección en la cual cada posibilidad está cuantificada, o sea, que tiene atribuida una probabilidad determinada. Esta atribución de números puede hacerse con base en la experiencia pasada y/o con la ayuda de teoría. En cualquier caso, las varias probabilidades estarán relacionadas entre sí. En el ejemplo anterior tendríamos, entre otras, esta relación: $P(1 \rightarrow 1) + P(1 \rightarrow 11) + P(1 \rightarrow 12) = 1$: Si se atribuye una probabilidad a cada rama del árbol de posibilidades y las varias probabilidades satisfacen las condiciones impuestas por el cálculo (como, por ejemplo, la que acabamos de escribir), se tendrá una *proyección estocástica* que puede, además, contrastarse con precisión cuantitativa (con la limitación que es intrínseca a las hipótesis probabilísticas; cf. sec. 5.6). La mayoría de las predicciones acerca de transiciones o pasos hechas con la ayuda de teorías cuánticas son predicciones estocásticas porque emplean leyes estocásticas y, en particular, leyes relativas a las probabilidades de transición de un sistema dado.

En muchos casos que son interesantes para el científico social y para el historiador las varias probabilidades estimadas difieren mucho entre sí; por eso en primera aproximación puede estar justificado en esos campos el despreciar completamente las transiciones menos probables (las cuales, cuando son de probabilidad mínima, suelen llamarse *vedadas* o *prohibidas*). Así, en nuestro ejemplo podríamos tener $P(1 \rightarrow 11) >> P(1 \rightarrow 12) >> P(1 \rightarrow 1)$, e inferir de ello que *el desarrollo más probable de los acontecimientos* en la próxima unidad de tiempo es un salto del sistema del estado 1 al estado 11. En este caso predeciríamos la *tendencia* del cambio, o la dirección más probable del mismo, y no los estados futuros con toda concreción. La ciencia social se beneficiaría sin duda de un estudio teorético y empírico más intenso de las probabilidades de transición: eso le permitiría formular proyecciones más precisas –más exactamente contrastables, por tanto– y, en algunos casos, prever lo que parece ser el curso más probable de los acontecimientos. En última instancia, esto es lo que se hace en física atómica y en la vida cotidiana, con la peculiaridad de que en el último caso nuestras proyecciones estocásticas son por lo general cualitativas, no cuantitativas, y sin fundar o sólo débilmente fundamentadas, y no basadas en teorías científicas. Lo importante es que la proyección estocástica es científicamente respetable, y que bastaría tener eso bien presente para contar con una posibilidad de acelerar la marcha de las ciencias no-físicas.

Se llamará *individual* la proyección referente a un individuo (físico o cultural), y *colectiva* la que se refiere a un agregado. (La distinción entre un individuo tomado como bloque y un agregado es en gran medida dependiente del nivel de análisis que se decida adoptar, pero no se agota toda en esa dependencia: un agregado puede constituir un sistema, o sea, un individuo de un nivel superior, aunque sus partes no estén densamente interrelacionadas. Algunos agregados estadísticos son sistémicos –las poblaciones biológicas, por ejemplo–, mientras que otros no lo son –por ejemplo, una secuencia de bo-

das.) Sea individual o colectiva, una proyección puede basarse en leyes no-estocásticas o en leyes estocásticas, según el conocimiento disponible y el objetivo. Así, por ejemplo, el comportamiento de un *quantum* de luz sólo es proyectable probabilísticamente a base de las leyes probabilísticas de la óptica cuántica, mientras que el comportamiento de un gran agregado de *quanta de luz*, como los que constituyen un pincel luminoso, será proyectable a base de las macroleyes clásicas que surgen de las microestructuras de los fotones (cf. sec. 9.5). Un agregado estadístico no tiene por qué ser necesariamente *actual*: también puede ser *potencial*, esto es, puede consistir en entidades coexistentes laxamente interrelacionadas o puede ser una secuencia casual de entidades sucesivas, como una serie de mediciones de una determinada magnitud. En cualquier caso puede resultar un comportamiento regular partiendo del comportamiento aproximadamente independiente de los componentes, y en ambos casos las estructuras serán colectivas, o sea, que todo componente individual, tomado en sí mismo, parecerá indeterminado y cumplirá al mismo tiempo una estructura general.

Toda regularidad estadística (tendencia o ley) refiere a un agregado, esto es, dibuja una estructura colectiva; pero no toda regularidad referente a un agregado es estadística, ni siquiera probabilística. Llamaremos *estadística* a una proyección si se basa en regularidades estadísticas (tendencias o leyes). Una proyección estadística es colectiva en el sentido de que se refiere a un agregado estadístico, o sea, a una colección de entidades de una determinada clase y con cierta dosis de casualidad interna en algún respecto, por poco casuales que puedan ser en otros respectos. La explicación de las regularidades estadísticas mismas requerirá un análisis que halle componentes a otro nivel diferente (cf. sec. 9.5), pero la predicción estadística pasará por alto ese detalle y se referirá al todo y en su propio nivel.

La predicción estadística más sencilla es tal vez la del comportamiento político en una sociedad estable. Es la más sencilla, y también la más segura, si se basa en datos precisos recogidos por muestreo al azar. El supuesto principal que desempeña el papel de generalización en las predicciones electorales resulta tan obvio que no suele expresarse: es la "ley de conservación" según la cual la composición política de una población cualquiera se mantendrá aproximadamente constante desde el momento de tomar la muestra hasta el día de las elecciones, siempre que ese lapso de tiempo no rebase unas pocas semanas. La información circunstancial es, naturalmente, el conjunto de los datos acerca de la composición o actitud política de una muestra representativa de la totalidad de la población. Si la elección no confirma la predicción, puede echarse la culpa a la muestra o a un desplazamiento de las tendencias en el último momento, lo que supone un fallo de la "ley" usada en la inferencia. Un esquema análogo sigue a las predicciones de rendimiento hechas por los psicólogos que seleccionan personal: también ellos suponen que la calificación de las capacidades de que dependen los éxitos del sujeto no van a cambiar apreciablemente en el curso del tiempo. Y esa característica tienen también algunas retrodicciones paleontológicas: podemos, por ejemplo, medir la dispersión de un determinado carácter, como la razón entre la longitud y la anchura del cráneo, basándonos en una muestra de una especie animal viva, y luego podemos extrapolar los resultados hacia el pasado, hasta una población extinguida que se considere antepasado inmediato de la estudiada. Este procedimiento puede evitarnos un salto inferencial injustificado por el cual afirmáramos

que un determinado cráneo fósil pertenece a una nueva especie simplemente porque tenga una razón anchura-longitud poco frecuente: si la discrepancia se encuentra dentro de la dispersión de la especie viva estudiada, podemos perfectamente considerarlo como un ejemplar ordinario. La generalización supuesta en este caso es, naturalmente, la de la constancia aproximada de la razón anchura-longitud de los cráneos de cualquier especie dada en el curso de un tiempo dado, por ejemplo, un millón de años; se trata de una hipótesis rectificable.

Viene luego la predicción a base de líneas determinadas de tendencia o desarrollo. El objetivo es en este caso prever el valor más probable de una variable y, partiendo del valor correspondiente de una variable correlatada, x, y de ciertos parámetros estadísticos, como promedios y desviaciones estándar, o medias. En este caso puede hacerse una estimación cuantitativa precisa, especialmente si la correlación entre x e y es intensamente lineal, o sea, si los puntos (datos) establecidos en el plano de coordenadas tienden a agruparse a lo largo de una línea recta (cf. fig. 10.4). Pero el cálculo, por preciso que sea, lo es de un valor probable, o sea, del valor en torno al cual es probable que se encuentre el valor real; éste diferirá con toda probabilidad del valor computado.

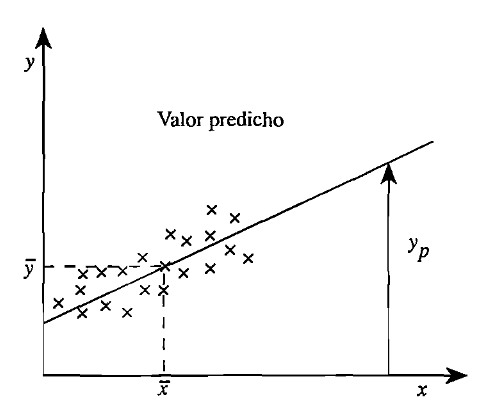


FIGURA 10.4. Extrapolación con la ayuda de la ecuación

$$y_p(x) = \bar{y} + \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \cdot r(x, y) \cdot (x - \bar{x}),$$

en la que $r(x, y)$ es la correlación entre x e y, y σ_x, σ_y son las desviaciones estándar.

La línea de tendencia no tiene que poseer necesariamente un eje rectilíneo: la misma utilidad que un eje rectilíneo tiene cualquier línea sustancialmente regular. Un caso típico es el del crecimiento de la población humana. La tendencia del crecimiento de la población es el resultado de la interacción de cierto número de leyes poco conocidas. Toda proyección demográfica, hacia el futuro o hacia el pasado, es una extrapolación de la tendencia "observada" en el último siglo, más o menos; dicho de otro modo: la proyección se hace con base en el supuesto de que la actual tasa relativa de crecimiento es más o menos constante. Pero ésa es una ficción; como muestra la incapacidad en que se encuentra la demografía de predecir más de un decenio de evolución demográfica. Y esto a su vez sugiere con mucha eficacia que no hay una *ley única* del crecimiento de la población humana, sino simplemente una línea tendencial, que probablemente resulta de la interferencia de cierto número de leyes, y que puede proyectarse entre una estimación baja y otra alta: Es así que en la década de 1960 se predijo que la población mundial en el año 2000 estaría comprendida entre cinco y siete mil millones. De hecho llega a poco más que seis. Véase la figura 10.5.

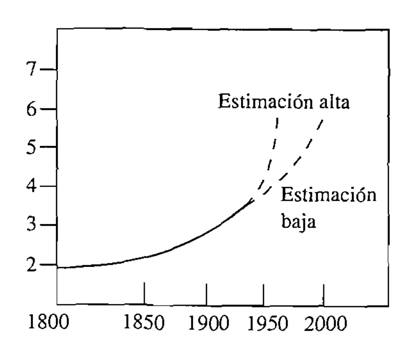


FIGURA 10.5. Proyección de la población mundial. Línea llena: valores estimados para el pasado reciente. Líneas punteadas: extrapolaciones –optimista y pesimista– de la línea tendencial.

Las líneas de tendencia son, como instrumentos de proyección, dignas de escasa confianza si no se basan en alguna teoría –por ejemplo, una teoría del crecimiento de la población– que dé cuenta del mecanismo causante de la tendencia básica. En este caso la línea central puede acercarse mucho a una línea propiamente dicha, y las desviaciones respecto de ella pueden atribuirse a perturbaciones casuales, como los accidentes históricos. Hablando el lenguaje de la teoría de la información, puede decirse que la línea central será el mensaje al que se sobrepone un ruido casual (cf. fig. 10.6). A su vez, una teoría más profunda puede analizar el ruido descubriendo en él otro mensaje y una perturbación de orden superior (de menor amplitud), que será el ruido ya inanalizable con el conocimiento disponible. En conclusión: podemos prestar fe a líneas de tendencia *teoréticamente analizadas* porque al conocer los mecanismos causantes de sus principales rasgos tenemos algunas *razones* para suponer que "el futuro se parecerá al pasado". Y la fiabilidad será tanto mayor cuanto más profunda sea nuestra resolución de cada ruido en un mensaje y un ruido más tenue. En cambio, si no se discierne mensaje alguno no nos encontramos en presencia de una línea de *tendencia* propiamente dicha, sino ante puro azar, en cuyo caso no es posible más que una vaga predicción estadística, referente a la secuencia como un todo y no a sus componentes. Éste es el caso de las series temporales al azar (cf. sec. 6.6).

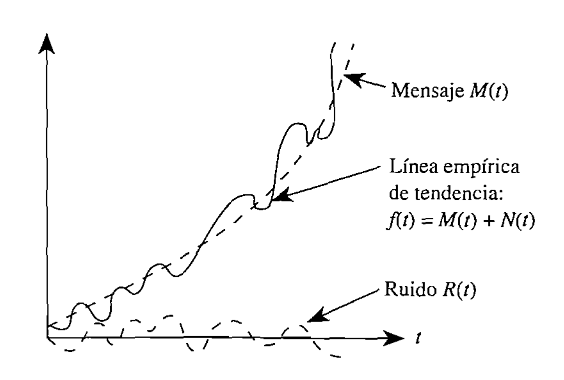


FIGURA 10.6. Análisis de una línea de tendencia $f(t)$, descompuesta en un mensaje $M(t)$ y un ruido casual $R(t)$. El ruido es el residuo no analizado.

Las series temporales al azar, a diferencia con las leyes estocásticas y las líneas de tendencia, no tienen ninguna potencia proyectiva. No toda refiguración o historia de un desarrollo de acontecimientos tiene potencia proyectiva, ni tampoco se la da la precisión con que se haya llevado a cabo: sólo tienen ese poder los enunciados de leyes, los cuales no describen acontecimientos enteros, sino aspectos seleccionados de los mismos. La consecuencia práctica está clara: el hacer crónica no puede darnos previsión porque no nos da comprensión. La proyectabilidad (la predecibilidad o la retrodecibilidad) depende de nuestro conocimiento de leyes, y en algún terreno ese conocimiento puede ser escaso o hasta nulo. Consiguientemente, el fracaso en el intento de proyectar acontecimientos de una determinada clase no probará que se trate de acontecimientos intrínsecamente improyectables, ni siquiera de acontecimientos de puro azar. Más bien habrá que sospechar que falta en ese campo una teoría en sentido propio.

Demasiado frecuentemente se echa al azar la culpa de nuestra incapacidad de proyectar. Como hemos visto, no hay azar más que cuando se cumplen ciertas regularidades estadísticas (cf. sec. 6.6). Por ejemplo: no podemos creer que una moneda sea correcta y se haya lanzado al azar a menos que, en una larga secuencia de lanzamientos, se obtenga una razón cara-cruz aproximadamente estable. Los acontecimientos casuales son sin duda individualmente impredecibles, pero la impredecibilidad no significa siempre carácter casual; además, la casualidad individual redunda en regularidades colectivas, y lo que en un determinado contexto cognoscitivo se presenta como un acontecimiento casual puede dejar de parecer accidental en otro contexto, en el cual, por lo tanto, resultará proyectable. Por ejemplo: hasta hace poco se consideraba que todas las mutaciones eran casuales, por la sencilla (e insuficiente) razón de que no se había descubierto ninguna relación constante entre ellas y agentes controlables; es verdad que se habían podido inducir experimentalmente ciertas mutaciones por medio de radiaciones, pero nunca de un modo predecible, porque la radiación obra a la brutal manera de las bombas. Pero en 1944 se consiguió inducir mutaciones predecibles con precisión en ciertos neumococos por medio del ácido desoxirribonucleico (ADN); a partir de ese momento ha habido que distinguir entre mutaciones espontáneas y, por tanto, impredecibles hasta el momento (e interpretadas como errores en la reduplicación de las moléculas de ácido nucleico) y mutaciones dirigidas, predecibles en consecuencia. Ese logro ha sido un primer paso en el dominio de la evolución de las especies, evolución que ha sido hasta ahora un proceso casual, aunque fuera a lo largo de líneas de tendencia determinadas. De hecho la evolución es parcialmente casual porque las mutaciones, que suministran el material en bruto a la selección natural, son independientes de su valor de adaptación, en vez de producirse aplicadamente con la intención de reforzar la adecuación del individuo para sobrevivir adaptándolo a su ambiente. El ambiente determina a un nivel superior las líneas de tendencia mediante la selección de los mutantes. Si conseguimos dirigir algunas mutaciones manipulando ácidos nucleicos, podremos guiar la evolución cortando genotipos a medida y disminuyendo tal vez el despilfarro natural.

La inferencia es clara: no hay acontecimientos que sean intrínsecamente casuales y, consiguientemente, no hay acontecimientos intrínsecamente improyectables. La casualidad y la proyectabilidad son ambas *relativas*: el azar es relativo al contexto físico total, y la proyectabilidad lo es al estado del conocimiento. La expresión 'x es improyectable'

debe por tanto considerarse incompleta y errónea si se toma al pie de la letra. En vez de ella deberíamos decir: 'x es improyectable a base del cuerpo de conocimiento y'. Si se cambian la teoría o la información perteneciente al particular cuerpo de conocimiento usado para intentar proyectar x, x puede hacerse proyectable. Los casos siguientes deben reforzar nuestra conclusión de que la proyectabilidad es esencialmente relativa al instrumento de proyección, o sea, al conocimiento disponible.

Consideremos primero una gran colección de moléculas que se mueven individualmente al azar, y tales que el sistema en su conjunto se encuentra en equilibrio térmico, internamente y con su ambiente. No sabemos cuál es la velocidad de cada molécula concreta, pero poseemos la ley de Maxwell-Boltzmann sobre la distribución de las velocidades: esta ley es estadística en el sentido de que se refiere a un agregado estadístico, pero está muy lejos de ser una generalización empírica: es en realidad un teorema de la mecánica estadística y, por tanto, tiene una potencia proyectiva superior a la de cualquier regularidad estadística no analizada, como una línea de tendencia. La ley predice la distribución de las velocidades que efectivamente se medirán si se perfora el recipiente; a base de eso permite predecir la energía media, la temperatura y la densidad del sistema. Todas son predicciones colectivas, o sea, referentes al sistema tomado como un todo. La misma teoría da también proyecciones individuales, pero de tipo probabilístico: no nos dirá cuál es la velocidad efectiva de una molécula tomada al azar, pero sí la probabilidad de que su velocidad se encuentre entre tales y cuales límites. La retrodicción dará el mismo valor que la predicción, porque las leyes de equilibrio, como la de Maxwell-Boltzmann, no dan intervención al tiempo. Las cosas resultan muy diferentes tanto en situaciones que no sean de equilibrio cuanto en el nivel inferior de las partículas constituyentes: aquí puede perderse la simetría entre la predicción y la retrodicción por la irreversibilidad de los procesos mismos.

Consideremos, por ejemplo, un electrón disparado con una determinada y conocida velocidad por algún dispositivo o por alguna fuente natural. Si se mide la posición del electrón puede retrodecirse su trayectoria con bastante precisión, aunque se desdibuje el valor de la posición; en cambio la predicción de su trayectoria futura será más bien confusa, precisamente por ese desdibujamiento de su posición (cf. fig. 10.7). En este caso es

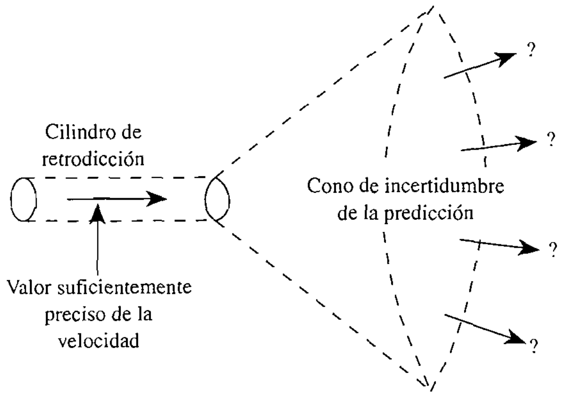


FIGURA 10.7. Predicción incierta y retrodicción suficientemente cierta en física atómica. Desde el momento en que se hace una medición de posición puede retrodecirse la trayectoria del electrón dentro de un cilindro; en cambio, sólo puede preverse dentro de un cono.

posible una retrodicción bastante segura, mientras que la predicción es casi imposible –en la actual teoría de los *quanta*. No hay, desde luego, razón para pensar que toda teoría futura conserve ese rasgo. Lo que nos interesa precisar es que hay casos en los cuales en una determinada teoría es posible la retrodicción, mientras que no lo es la predicción, y al revés en otros casos.

La retrodicción es la imagen especular de la predicción única y exclusivamente cuando la línea entre el pasado y el futuro es una línea única: tal es el caso de las balas o proyectiles macroscópicos (y no el de los electrones), y el de los rayos de luz (pero no el de los *quanta* de luz); mas en modo alguno es ése el caso de un agregado estadístico de átomos, como es un vaso de agua. En realidad, las más diversas historias pasadas de los componentes individuales de un agregado estadístico pueden terminar en uno y el mismo estado final; y siendo ésa la situación, es claro que el conocimiento de ese estado final y la ley del proceso en su conjunto no bastan para reconstruir la historia pasada del sistema. La razón es que en el caso de los agregados estadísticos las historias precisas de los componentes individuales son irrelevantes. Piénsese en el enorme número de trayectorias de una moneda lanzada que terminan igualmente en el estado final al que llamamos 'cara'. Una situación análoga se produce en procesos que no son ostensiblemente casuales, aunque surgen de mezclas casuales en un nivel inferior, como es la mezcla de un conjunto de cuerpos que se encuentran inicialmente a diferentes temperaturas: un determinado valor de la temperatura de equilibrio final puede alcanzarse de infinitos modos distintos, esto es, partiendo de infinitas combinaciones diversas de temperaturas individuales (cf. fig. 10.8). En todos esos casos, cuanto más azar menos memoria, y viceversa.

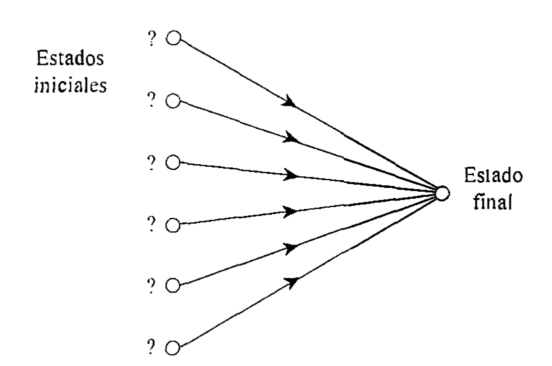


FIGURA 10.8. La relación unívoca de muchos a uno entre estados iniciales y un estado final de equilibrio impide la retrodicción.

Hablando en general, dadas las leyes de un proceso irreversible y el estado inicial de un sistema que está atravesando ese proceso, puede predecirse en principio el estado final del sistema, ya sea con suficiente certeza, ya sea con alguna probabilidad. Pero si no se tiene más ayuda que la de las leyes estocásticas, será en principio imposible retrazar hacia atrás o retrodecir la evolución del sistema partiendo en la inferencia de un estado final y buscando su estado inicial. Sólo un conocimiento del estado final y de las leyes individuales de los componentes del agregado posibilitaría la retrodicción, en principio al menos, aunque acaso ni entonces fuera técnicamente posible para lapsos de tiempo algo

considerables, a causa de las incertidumbres ya en el mero conocimiento del estado final y en el de las influencias que han obrado sobre el sistema a lo largo de su historia.

Para resumir: (*i*) la proyección estocástica, colectiva (estadística) o individual (probabilística) no es menos importante e interesante que la proyección no-estocástica ("determinista"), particularmente si se hace con la ayuda de teorías, y sobre la base de generalizaciones estadísticas empíricas; (*ii*) la predecibilidad no supone o implica la retrodecibilidad, ni a la inversa; y (*iii*) la proyectabilidad es relativa al conocimiento disponible, y no intrínseca a los hechos. Ahora podemos plantearnos algunas complejidades de la proyección histórica.

Problemas

10.2.1. Formular y analizar una línea estadística de tendencia y una ley estocástica, indicando los aspectos colectivos y los aspectos individuales de las proyecciones que pueden hacerse a base de la última. *Problema en lugar de ése*: En la vida cotidiana hacemos previsiones bastante indeterminadas y obramos de acuerdo con ellas. Por ejemplo, "guardamos para cuando no haya", suponiendo que vendrá algún día en el cual no "habrá", sin precisar qué. También en tecnología se toman medidas para hacer frente a acontecimientos que son imprevisibles en detalle (por ejemplo, la rotura o el desgaste imprevisible de partes de máquinas por factores externos). En todos esos casos prevemos conjuntos de hechos posibles, no propiamente hechos singulares. Dilucidar este concepto de previsión indeterminada.

10.2.2. ¿Qué se sabe y qué se ignora cuando no se dispone más que de leyes estocásticas? ¿Puede predecirse el comportamiento individual con la ayuda de tales leyes? Caso afirmativo, ¿de qué modo? Caso de respuesta negativa: ¿tenemos entonces que apelar a la intuición? *Problema en lugar de ése*: Analizar la pretensión según la cual en psicología la previsión individual (clínica), que no se basa ni en enunciados estadísticos ni en enunciados de leyes, puede ser tan precisa como la predicción actuarial (estadística), o hasta más que ella. ¿Cómo se hacen y convalidan tales pronósticos individuales? Cf. P. E. Meehl, *Psychodiagnosis*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1973.

10. 2. 3. En la década de 1960 se predijo, por extrapolación, que recursos no renovables, tales como el petróleo, se agotarían en menos de un siglo. Sin embargo, el precio del petróleo no aumentó sensiblemente, y la mayoría de los economistas sigue haciendo de cuenta que los recursos naturales son infinitos. ¿Por que?

10.2.4. Estudiar cómo el azar en lo pequeño (por ejemplo, en la mutación génica) puede desdibujarse en lo grande (por selección o por establecimiento de una media). Dicho de otro modo: estudiar el problema de cómo el azar a un nivel puede dar lugar a falta de azar en otro.

10.2.5. El choque de dos automóviles en una esquina puede ser, para los conductores que lo sufren, un acontecimiento accidental (casual): de no ser así, lo habrían evitado. Pero un espectador que haya estado viendo el choque desde una terraza puede haber previsto el accidente: el mismo acontecimiento estaba para él perfectamente determinado. Resolver esa paradoja.

10 2. 6. Elaborar la idea de que, aunque el azar puede ser objetivo (o sea, aunque haya distribuciones y procesos al azar en la realidad), nuestro juicio acerca del grado de azar es relativo a un conjunto de enunciados de leyes. Cf. M. Bunge, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1963, cap. 12.

10.2.7. Hacer un estudio detallado de la retrodicción. Examinar sobre todo (*i*) enunciados de leyes que posibilitan la predicción, pero no la retrodicción; (*ii*) el caso inverso, y (*iii*) la retrodicción

a base de leyes estocásticas. Puede verse un ejemplo de (*i*) en M. Bunge, "A General Black Box Theory", *Philosophy of Science*, *30*, 346, 1963; de (*ii*) en M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires. Sudamericana, 1996; de (*iii*) en S. Watanabe, "Symmetry of Physical Laws", parte III: "Prediction and Retrodiction", *Reviews of Modern Physics*, *27*, 179, 1955.

10.2.8. Examinar la tesis de que la impredecibilidad en un determinado dominio garantiza la inferencia de la indeterminación objetiva de los acontecimientos en ese dominio. Indicación: distinguir entre determinación (que es un predicado ontológico) y predecibilidad (que es un predicado epistemológico). Cf. M. Bunge, *La causalidad*, cap. 12.

10.2.9. Suponiendo que todo lo predecible en base a alguna ley está determinado de algún modo, estudiar la afirmación de que ese supuesto lleva a alguna de las siguientes tesis: (*i*) "Todo lo determinado es en principio predecible". (*ii*) "Toda cosa determinada es predecible en la práctica". (*iii*) "Una cosa es determinada si y sólo si es predecible en principio o en la práctica".

10.2.10. Se dice a veces que una teoría científica con potencia explicativa puede carecer de toda potencia predictiva; como ejemplo destacado de ello se menciona la teoría de la evolución. Examinar esa idea. Sugerencia: empezar por averiguar si de hecho no se realizan predicciones en microbiología, y retrodicciones en la paleontología de los vertebrados con la ayuda de la teoría de la evolución. En la sección 10.4 se habla de la capacidad proyectiva de esta teoría.

10.3. PROYECCIÓN HISTÓRICA

Constantemente hacemos proyecciones hacia atrás, o sea, retrodicciones. La vista de una abuela hermosa sugiere imaginativamente lo que fue la hermosa novia, por la generalización de que la belleza, igual que el poder adquisitivo de la moneda, puede deteriorarse, pero no aumentar; un libro instructivo sugiere el intenso esfuerzo de su autor, a base del supuesto de que el aprendizaje y el trabajo de creación no se obtienen gratis; y así sucesivamente. Deseamos reconstruir el pasado igual que deseamos averiguar si estamos atados a él: no sólo por curiosidad intelectual, sino también porque para entender el presente tenemos que entender cómo se originó, y porque para prever necesitamos información, y toda información propiamente dicha se refiere a hechos ya pasados.

La retrodicción hipotética del pasado humano es, desde luego, tarea específica de la historia. Pero *la* historia no es la única ciencia histórica si se entiende 'histórica' en el sentido de 'retrodictiva'. La cosmología incluyendo en ella las teorías de la evolución de los astros, intenta reconstruir la historia del universo y de sus componentes. La geología intenta retrodecir el pasado de la tierra. La química se ocupa de formular hipótesis acerca de la historia de los elementos y de sus compuestos. Y la paleontología se propone retrazar el origen y la evolución de los seres vivos. Todas esas ciencias suministran ejemplos de retrodicción científica, a veces en un sentido estricto, otras en un sentido laxo. Llamaremos *proyección científica estricta* a la que no se hace más que con teorías científicas y datos científicos. *Proyección científica laxa* significará para nosotros la proyección hecha con la ayuda de teorías científicas y datos más supuestos referentes a líneas de tendencias y a estructuras o esquemas y que no son leyes científicas propiamente dichas. La proyección estricta es típica de las ciencias físicas, aunque no exclusiva de ellas, mientras que la proyección laxa es típica de las ciencias del hombre en su estado actual.

Un ejemplo elemental de retrodicción teorética estricta es la operación de fechar estratos geológicos mediante el estudio de las rocas sedimentarias. Conociendo la tasa de sedimentación y el espesor de la roca puede estimarse (o sea, calcularse con aproximación) el tiempo requerido para la formación de la roca. La ley es en este caso "v = constante", y la velocidad de sedimentación, v, se mide en el laboratorio: el dato de circunstancia es el espesor de la roca sedimentaria, h; la inferencia es simplemente: a partir de $v = h/t$ calculamos el tiempo t, o sea, la edad de la roca. Por ejemplo, el espesor máximo del periodo cuaternario en Europa es de unos 1 000 m, y la velocidad de sedimentación se ha estimado así: v = 0.03 cm/año. Por tanto, la duración máxima de esa era fue t = 1 000 m/0.0003 m/año ≅ ≅ 3 000 000 de años. La fecha de las rocas radiactivas y de los meteoritos por su contenido (pesado) en plomo y helio procede según un esquema análogo; lo mismo puede decirse de las operaciones que sirven para fechar con ayuda del carbono radiactivo; en estos casos se utiliza una ley bien conocida (aunque rectificable en principio) de decadencia radiactiva.

La predicción nomológica o estricta es posible siempre que (*i*) hay una correspondencia biunívoca entre los estados pasados y los futuros, o sea, siempre que el sistema tiene una "memoria" intensa, de tal modo que su historia puede retrazarse hacia atrás examinando, por así decirlo, las cicatrices del sistema; y (*ii*) siempre que se conoce la ley de evolución. (Dicho de otro modo: cuando pueden invertirse las funciones que proyectan el pasado sobre el presente.) *Sólo* en ese caso es la retrodicción precisamente la inversa de la predicción. Es claro que sólo una limitada clase de sistemas satisface esas condiciones; por eso la retrodicción nomológica o estricta está lejos de ser universalmente posible.

Un tratamiento general –pero superficial– del problema puede darse utilizando una representación del sistema según el principio de la caja negra, o sea, una representación que no especifique ni la constitución ni la estructura del sistema. Supongamos que 'I' representa una variable de *input*, o factor, 'O' la correspondiente variable de producto, u *output*, y 'M' un operador que, aplicado a la columna de los valores de *input,* da la columna de *outputs*. Dicho brevemente: $O = MI$ (cf. figs. 8.16 y 10.9). El *problema proyectivo directo* es entonces: dados los valores pasados (o presentes) del *input*, I, y el operador mecanismo, M, hallar los valores presentes (o futuros) del *output*, O. Este problema se resuelve realizando la operación MI, que da O. El *problema proyectivo inverso* es: dados los presentes valores del *output* y el operador M mecanismo, hallar el *input* pasado que

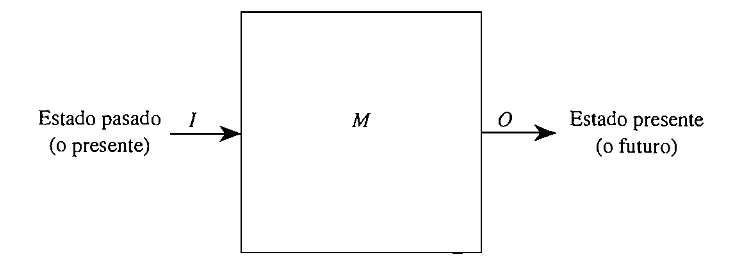


FIGURA 10.9. La caja de proyección que relaciona los *inputs* pasados, I, con *outputs* presentes, O. El operador de conversión, M, especifica la clase de caja, aunque sin indicar sus interioridades.

produjo la actual situación O. El problema, si resulta resoluble, lo es hallando el inverso M^{-1} del operador M y aplicándolo a la columna de los datos disponibles, puesto que $I = M^{-1}O$. Mientras que el problema de proyección directo es en principio resoluble –siempre que se disponga de la ley "$O = MI$" y de los datos I–, el problema inverso puede no serlo: el operador inverso, M^{-1}, del operador mecanismo puede no existir o no ser único. En el primer caso no será posible ninguna retrodicción; en el segundo se obtienen varias retrodicciones incompatibles, generalmente sin estimación de sus respectivas probabilidades. Sólo si se dan ciertas condiciones restrictivas establecerá M^{-1} una correspondencia biunívoca entre el *output* dado y los *inputs* buscados (cf. problema 10.2.7). Dicho de otro modo: la retrodicción estricta no es posible más que para una limitada clase de cajas negras.

Si la historia del sistema es poco relevante para su estado actual, o si se desconoce el esquema de su evolución (ya porque no exista, ya porque no hayamos conseguido hasta ahora dar con él), entonces puede probarse suerte con la retrodicción laxa. Al igual que la predicción, la retrodicción laxa puede consistir en extrapolaciones o interpolaciones. Una *extrapolación* es una proyección sobre un área inexplorada, lo que hace de ella una operación arriesgada y, caso de tener éxito, muy rentable; una *interpolación* es la inferencia, más cauta, que consiste en hacer una estimación entre los datos de bastante confianza (cf. fig. 10.10). Las especulaciones sobre el origen de las instituciones sociales son extrapolaciones, mientras que la reconstrucción hipotética de un eslabón perdido en una teoría evolucionista es una interpolación.

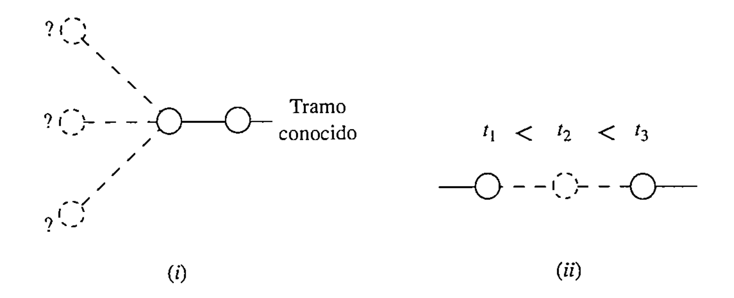


FIGURA 10.10. Retrodicción laxa: (*i*) extrapolación; (*ii*) interpolación.

Las hipótesis sobre el origen de la vida son un caso importante de interpolación retrodictiva. Considerada desde el punto de vista de la evidencia, se trata más bien de una extrapolación, puesto que la proyección va mas allá de toda evidencia fósil. Pero si se acepta la hipótesis de que la vida ha surgido espontáneamente –aunque según leyes– a partir de la materia no viva, entonces una y otra materia, tal como las conocemos hoy, se convierten en puntos de referencia fijos entre los cuales hay que interpolar las primeras cosas vivas. Eso requiere, desde luego, la hipótesis adicional de que la materia no viva no haya cambiado apreciablemente en nuestro planeta durante los dos últimos billones de años (cf. fig. 10.11).

Otro ejemplo típico de interpolación hacia atrás ofrece la paleobiología cuando se apoya en la teoría de la evolución. La doctrina de la fijeza de las especies quitaba, natu-

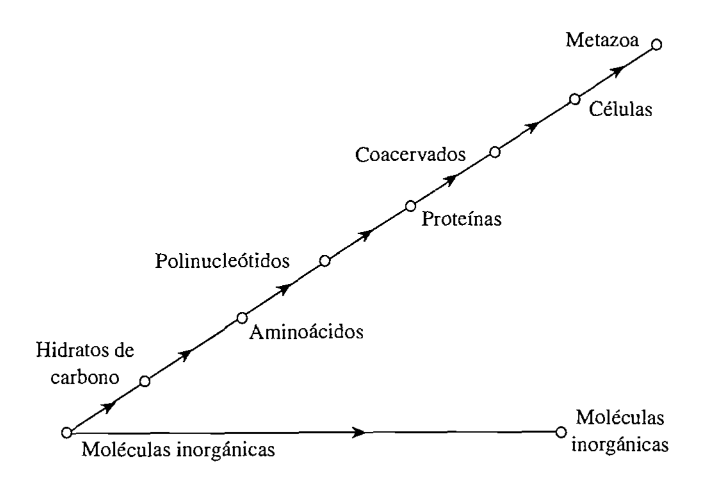


FIGURA 10.11. La teoría biogenética como una secuencia de interpolaciones (tomado con simplificaciones de A. I. Oparin).

ralmente, todo interés a retrodicciones y predicciones acerca de las especies; esos problemas no cobran sentido más que en el marco de teorías evolucionistas. Pero el transformismo no da aún extrapolaciones precisas, ni hacia adelante ni hacia atrás, porque hasta el momento no contiene específicas *leyes de la evolución*, o sea, leyes de la evolución de los géneros, sino simplemente *líneas de evolución* que pueden explicarse llegado el caso por las leyes de la genética y de la ecología. Pero eso es suficiente tanto para sugerir la búsqueda de evidencias de las transformaciones cuanto para permitir interpolaciones retrodictivas de bastante confianza sobre la base del supuesto de que las transiciones entre especies vecinas son casi continuas. Así, dadas dos especies vecinas, A y B, del mismo género, la teoría de la evolución sugerirá las siguientes hipótesis: h_1 = "A desciende de B"; h_2 = "B desciende de A", y h_3 = "A y B descienden de un antepasado común." En cualquiera de esos casos el transformismo sugiere la existencia de otras variedades C; y esta hipótesis existencial guiará la búsqueda o, por lo menos, el reconocimiento de ejemplares de C o de sus restos fósiles. La búsqueda no será al azar, sino que se hará sobre la base de una de las hipótesis antes mencionadas. Si C es un antepasado común de A y B, entonces tendrá, con gran probabilidad, más rasgos primitivos que A o que B. En cambio, si A o B tienen más caracteres primitivos que C, C puede ser el eslabón perdido que haya que interpolar entre A y B. En cualquier caso se usará la generalización "Las formas más avanzadas vienen después de las más primitivas".

El hecho de que esa generalización tenga excepciones (porque hay involuciones) hace la proyección insegura, pero no acientífica. Mas, sea de ello lo que fuere, puede decirse que la retrodicción biológica es a la vez aplicación de la teoría de la evolución y contrastación de ella: sólo que es una proyección laxa, no estricta.

También en la historia humana la proyección retrospectiva es principalmente inter-

poladora; y el que sea posible en alguna medida se debe a que, a diferencia de los sistemas macroscópicos mecánicos, como el sistema solar, las sociedades humanas están dotadas de una "memoria" intensa, no en el sentido de que aprovechen la experiencia, sino en el de que su estado en un determinado momento determina considerablemente su futuro. Rara vez, si es que alguna, se hace la interpolación en historia con la ayuda de leyes propiamente dichas; por lo general se parece más que a eso a la resolución de acertijos y rompecabezas: o bien se trata de encajar una pieza de evidencia en un esquema conocido o conjeturado, o bien se descubre un hiato en el esquema mismo y el problema consiste en buscar la pieza de evidencia capaz de cubrirlo. El prehistoriador que encuentra un trozo de tejido se pone a buscar algunos restos de telar; el arqueólogo que descubre pinturas rupestres se pone en seguida a buscar huesos humanos en sus proximidades. Cualquier conjunto de datos adecuadamente interpretados a la luz de un marco de referencia de conocimiento histórico sugiere alguna concreta estructura que atribuir al grupo humano en estudio; a su vez, ese esquema sugiere hechos por el momento desconocidos, o sea, retrodicciones que el historiador intenta contrastar para conseguir así una contrastación de la estructura conjeturada y para conseguir más información. Pero ni siquiera cuando no emplea leyes históricas en sentido estricto –y ésta es la situación corriente– opera el historiador de un modo ciego; además de los datos, utiliza (*i*) el conocimiento de sentido común –a menudo erróneo– acerca de la "naturaleza humana", (*ii*) el conocimiento, ya afinado, que le suministra la biología, la economía, la sociología, la psicología y cualquier otra disciplina que le sea útil y (*iii*) generalizaciones empíricas, líneas de tendencias y otras estructuras de acontecimientos y procesos históricos.

Los historiadores hacen, pues, retrodicciones laxas, y, en la mayor parte de los casos, interpolaciones retrodictivas. De vez en cuando, sin duda, se permiten proyecciones hacia adelante –por no hablar ya de veleidades proféticas. Ejemplo 1: En el siglo XVIII el conde de Aranda profetizó que las colonias españolas de América acabarían absorbidas por Estados Unidos. No se trataba, ciertamente, de una profecía infundada: Aranda utilizó explícitamente la generalización según la cual los aumentos de población empujan hacia la expansión territorial, y la correcta información de que la joven república del norte estaba teniendo un crecimento demográfico más rápido que el de las atrasadas colonias españolas. Ejemplo 2: En 1835 A. de Tocqueville pronosticó que Estados Unidos y Rusia terminarían por tomar en sus manos el destino de una cuarta parte de la humanidad cada una. Tampoco esto fue mera injustificada profecía: Tocqueville estaba extrapolando una línea tendencial, a saber, la constante expansión territorial y el rápido progreso de ambos países. En los dos casos se utilizaron como premisas de la proyección una *tendencia* general y el *mecanismo* subyacente a la misma. Las proyecciones no se basaban en meras generalizaciones fenomenológicas del tipo "Siempre que ocurre A le sigue B": tales generalizaciones son poco de fiar, porque cuando no puede indicarse ningún "mecanismo" puede sospecharse que se trate de una mera coincidencia.

Bastantes rasgos de la actual civilización fueron predichos por análogas razones o fundamentos hace más o menos un siglo. Como resultados de la industrialización se predijeron por entonces el aumento en la división del trabajo, el reforzamiento del estado, la mayor importancia del sindicalismo y del radicalismo político. En cambio, muchas otras previsiones históricas, y acaso las más, no han resultado satisfechas por los hechos, apar-

te de que muchos hechos no han sido previstos por nadie. Así, por ejemplo, la creciente prosperidad de la clase obrera en determinadas países, la primera guerra mundial, las alianzas concertadas durante la segunda y el reforzamiento postbélico del catolicismo y el militarismo en Estados Unidos, el rápido colapso del colonialismo y el colapso del comunismo no fueron previstos por nadie, salvo acaso por los que tenían ellos mismos la mano en el volante. La conclusión de esas reflexiones es obvia: hasta el momento, la previsión histórica *ha solido fracasar* En cuanto se examina la cuestión se presentan casi espontáneamente dos explicaciones del fracaso. Primera explicación: la predicción histórica es imposible, y las previsiones que han resultado verdaderas lo han sido por pura suerte o porque eran demasiado obvias, vagas o ambiguas. Segunda explicación: la predicción histórica –en un sentido laxo de 'predicción'– es posible en *esquema* siempre que se utilicen las generalizaciones relevantes y correctas, las líneas tendenciales y los enunciados legaliformes oportunos (que acaso pertenezcan a disciplinas adyacentes, como las ciencias sociales). La primera explicación podría ser correcta, pero no lo parece por ahora, pues (*i*) no se sostiene mediante una explicación admisible de por qué es imposible la predicción histórica, y (*ii*) porque la predicción científica no ha hecho aún ni siquiera sus primeras armas, a título de ensayo, en el campo de la historia. La segunda explicación parece más plausible, aunque no sea más que porque, de hecho, realmente se hacen sin cesar con éxito prediciones históricas *parciales y a corto plazo.* Sólo que no las hacen los historiadores, generalmente interesados por el pasado remoto, sino los estadistas y políticos, que son en cierto modo agentes históricos profesionales.

La elaboración del presupuesto de una nación moderna exige prever cuál será el producto probable en un futuro próximo sobre la base de las tendencias presentes y de unas pocas leyes de la ciencia económica; análogamente, el plan de producción de una industria se basa en previsiones de ventas, previsiones para las cuales la investigación operativa está desarrollando instrumentos cada vez más potentes. En general, cuanto más civilizados nos volvemos tanto más tendemos a regular nuestras acciones según ciertas previsiones: tal es, en efecto, el sentido de ese 'obrar según un plan' tan característico de la práctica moderna: es obrar para alcanzar objetivos señalados y, por tanto, predichos aunque sea de modo impreciso. En el pasado eran los charlatanes los que hacían esas previsiones; ahora las formulan los administradores, los economistas, los científicos sociales y los políticos. Y si a menudo son imprecisas eso puede deberse a que se basan en conocimiento insuficiente. El pensamiento desiderativo –el creer lo que se desea– y hasta la falta de veracidad son otras tantas fuentes más de fracaso en la predicción de la acción. En cualquier caso, los fracasos en la previsión no prueban la *imposibilidad* de la predicción misma: todo lo que evidentemente prueban es la *falibilidad* de la predicción. Y hasta podría argüirse que la previsión histórica a corto plazo es en principio más fácil que la previsión individual, precisamente porque la primera se refiere a agregados estadísticos de individuos cuyo preciso comportamiento no es en realidad relevante para la tendencia general. Así, por ejemplo, el profesional de la estrategia económica o militar planeará una determinada acción y preverá su resultado más probable sin tener en cuenta el destino individual de los soldados o de los obreros; análogamente, el recaudador de impuestos hará una estimación total de los ingresos fiscales de su distrito sin tener en cuenta cómo se ha ganado la vida cada uno de sus contribuyentes. Otro rasgo del comportamiento humano

en gran escala que hace posible una predicción resumida o esquemática es la intensa "memoria" de las comunidades humanas. Un tercer y último factor de predecibilidad es, finalmente, la creciente intervención del estado –y, consiguientemente, de una planificación casi "totalitaria" del curso de los acontecimientos en la vida moderna. (Compárese *Walden* de Thoreau con *Walden Two* de Skinner, y recuérdese que entre uno y otro no ha pasado más de un siglo.) Para bien o para mal, la creciente planificación de la vida social y la resultante rigidez de la misma van acercando la historia a la física: y esto, naturalmente, no es más que un pronóstico. Lo que hace posible la predicción histórica no es que haya *leyes históricas inexorables*: si existen realmente leyes históricas, son obra de nuestra acción y, por tanto, son suceptibles de cambio, es decir, no son inexorables. La predicción histórica es en principio posible más bien porque (*i*) la historia es la evolución de la sociedad humana, y estamos ahora empezando a aprender algo acerca de los mecanismos sociales, (*ii*) las personas se dedican a veces deliberadamente a hacer que los acontecimientos ocurran.

Se ha considerado generalmente como un hecho indiscutible que la previsión histórica debe atender a las hazañas de individuos excepcionales (por que éstos son los principales agentes causales en la historia) o al "destino" general de las naciones (por suponerse que hay al respecto inexorables leyes históricas). Ambos desiderata extremos son prácticamente inalcanzables, y si sus presupuestos resultan manifiestamente falsos no vale la pena ponerse a discutirlos como programas. Lo que el historiador de estilo mental sociológico puede intentar prever con algún éxito es el conjunto de las *líneas generales y más probables* de desarrollo de los grupos humanos en ciertos *respectos definidos* (por ejemplo, el económico, el educativo, el religioso), suponiendo, para empezar, que determinados factores, mecanismos y tendencias seguirán operando o dejarán de obrar. Este tipo de previsión no partirá de *leyes generales* –las cuales no existen en este campo–, sino que seguirá a un análisis del sistema de que se trate, para descubrir partes y relaciones, y a la subsiguiente aplicación de cierto número de hipótesis –y de teorías si es posible– sobre las partes y relaciones en cuestión.

El error de todos los profetas históricos ha consistido en entregarse a formular previsiones intuitivas y holísticas, totalizadoras, o sea, proyecciones generales sin análisis previo ni teoría subyacente. No puede así sorprender que sus proyecciones fallen, salvo cuando han tenido la precaución de formularlas de un modo inasequible a la contrastación empírica. Es como si un ingeniero mecánico al que se pidiera que predijera el estado de un determinado automóvil cinco años después considerara el automóvil en su conjunto, sin examinar el estado actual de sus partes, ni las costumbres de su dueño, ni tener en cuenta ningún supuesto concreto sobre el desgaste normal y la producción de accidentes tal como pueden hacerse con base en conocidas generalizaciones estadísticas. El mejor pronóstico que podría hacer un competente técnico automovilístico sobre la base de ese tipo de conocimiento y de supuestos tendría la siguiente forma: "La probabilidad de que el automóvil termine en el estado 1 es p_1; la del estado final es p_2, etc., y todas esas probabilidades sumadas dan 1." Si esas previsiones de árboles de probabilidades son todo lo que podemos esperar respecto de la vida de los automóviles y, a pesar de su modestia cognoscitiva, las consideramos útiles, ¿por qué hay que pedir mucho más al historiador científico del futuro? (cf. sec. 10.2).

Nos hemos ocupado hasta ahora de la previsión del curso *más plausible* de los acontecimientos. ¿Qué decir respecto del *menos plausible* o sea, de novedades radicales, como son los progresos importantes en la ciencia pura y la aplicada? Los descubrimientos y las invenciones importantes de la ciencia y la técnica son impredecibles *en detalle*, igual que las grandes obras de arte. Pero algunas de esas innovaciones pueden preverse *en esquema* o esbozo, y son incluso objeto de pronósticos de todas las grandes instituciones que llevan a cabo proyectos de investigación. Todo el mundo puede hoy atreverse a hacer los siguientes pronósticos más o menos audaces acerca de los desarrollos científicos del próximo futuro. En primer lugar, la biología, la sociología y la psicología continuarán avanzando. Ésa es una extrapolación de una tendencia iniciada esencialmente después de la segunda guerra mundial. En segundo lugar, se aislará el mecanismo de la fotosíntesis y se dominará luego y se aplicará para conseguir la síntesis de alimentos en gran escala, lo cual dará gradualmente lugar a la desaparición de la agricultura, con el resultado último de completar el proceso de urbanización. El fundamento de esta extrapolación es la creciente comprensión del proceso de la fotosíntesis y los éxitos del programa de síntesis del protoplasma a partir de cadenas de aminoácidos. En tercer lugar, todos los trastornos mentales serán tratados eficazmente, a medida que se diseñen y ensayen nuevos fármacos neurolépticos. El fundamento de este pronóstico es que hoy sabemos que los trastornos mentales son disfunciones cerebrales, las que a su vez son causadas por reacciones químicas anormales. Los tres pronósticos tienen las siguientes características: (*i*) son previsiones esquemáticas, no de detalle; (*ii*) son temporalmente indeterminadas y, por tanto, empíricamente irrefutables; y (*iii*) no se basan en leyes propiamente dichas: no se conocen hasta el día de hoy leyes referentes a la invención y el descubrimiento de ideas y artefactos. Pero no son profecías arbitrarias: se basan en información relativa a las presentes condiciones, a las tendencias y la fiabilidad de la investigación científica. Aún más: tampoco son previsiones sueltas, sino que constituyen la base de ciertos proyectos de investigación y de las esperanzas puestas en ellos. Sin tales pronósticos, planes y esperanzas no podrían conseguirse dotaciones económicas para las investigaciones correspondientes.

En resolución: parece posible la previsión histórica, aunque sea esquemática. Pero con esto no se quiere negar que hay importantes diferencias entre el pronóstico histórico y la predicción física, que son los dos polos de la previsión científica. He aquí unas cuantas diferencias que destacan entre ellas: (*i*) mientras que el físico puede frecuentemente hacer predicciones nomológicas estrictas, el historiador no puede hasta hoy conseguir más que predicciones laxas, tal vez porque (*ii*) hasta el momento la historia no ha descubierto sino pocas leyes, generalmente de un tipo superficial (fenomenológico), como las leyes de conjunción y sucesión, y, por tanto, (*iii*) la previsión histórica es imprecisa. (*iv*) Los historiadores no se han preocupado de construir teorías científicas para el terreno de la historia: han estudiado el hecho aislado, o la cadena aislada de acontecimientos y, a lo sumo, han imaginado grandes filosofías de la historia, incontrastables o manifiestamente falsas; (*v*) en particular y hasta hace muy poco tiempo y con escasas excepciones, los historiadores no han intentado descubrir los mecanismos de los acontecimientos, los cuales son presumiblemente mecanismos biológicos, psicológicos, económicos, sociales y culturales. (*vi*) La historia no se ha estudiado nunca de un modo estadístico, pese a que la

sociedad humana es en muchos respectos más parecida a un agregado estadístico que a un organismo. (*vii*) Mientras que el físico no necesita utilizar más leyes que las físicas, el historiador necesita leyes de nivel inferior al suyo (principalmente leyes sociológicas), como han comprendido hace ya mucho tiempo los historiadores de la sociedad y de la economía. (*viii*) Mientras que la validez de las leyes de niveles inferiores al humano se considera dada para periodos cósmicos enteros, o acaso eternamente, se supone que las leyes sociales cambian junto con la sociedad misma; eso acarrea una nueva complejidad a la proyección histórica, pero no la hace imposible: en última instancia, tal vez las leyes no cambian casualmente y puedan descubrirse las leyes de su cambio mismo. (*ix*) A diferencia de la predicción física, que no influye ella misma en los hechos (a menos que la recoja un ingeniero), la predicción relativa a asuntos humanos puede influir en los mismos acontecimientos a que se refiere, y ello hasta el punto de cambiar su curso y apartarlos del que habrían seguido si no se hubiera hecho pública la predicción, como ocurre con las desiderativas previsiones de financieros y políticos, que modelan con ellas el futuro real (cf. sec. 11.3).

Pero en este último respecto la predicción histórica es precisamente como la tecnológica –por ejemplo, como la previsión acerca del rendimiento y la duración de una máquina– hecha a base de la física. Y la eficacia causal de algunas predicciones históricas es en verdad un poderoso argumento en favor de la tesis de que la predicción histórica puede tener éxito. Sólo que el hecho tiene escaso –o ningún– valor de contrastación, porque no podemos tener experiencia de lo que habría ocurrido si no se hubiera formulado la predicción. También puede compararse la imprecisión de la previsión histórica con la precisión de la previsión astronómica; pero aquella imprecisión no es peor que la que afecta a la predicción de trayectorias de electrones, ni que la actual incapacidad de prever terremotos y tornados. Por último, el historiador no es el único científico que se ve obligado a apelar a leyes de nivel inferior al propio: también tienen que hacerlo el geólogo, que se basa en las leyes de la física y la química, o el biólogo que, para poder prever la evolución probable de una colonia de bacterias, usa las leyes de la genética y la ecología. Si en vez de comparar la historia con la astronomía la comparáramos con la mecánica estadística o con el estudio de la evolución biológica, se vería que muchas debilidades supuestamente características de la historiografía o hasta, como a veces se dice, de su tema mismo, son también propias de disciplinas perfectamente científicas. La historia no es la física, pero tampoco es literatura. Y obstaculizar la posibilidad de maduración de la historiografía y su conversión en ciencia es tan poco favorable al progreso como complacerse con su actual condición protocientífica.

Todas las predicciones son falibles, y los pronósticos lo son aún más, igual en física que en historia. Las previsiones pueden ser arriesgadas, pero no son peligrosas mientras no consistan en lóbregos pronósticos de imposibilidad de logros humanos, sociales o culturales, como, por ejemplo, la profecía según la cual nunca seremos capaces de prever la dirección del cambio social. La mera formulación de esa profecía obliga al conformista a obrar de modo que se confirme la profecía, o sea, a cortar su búsqueda de teorías sociales que tengan potencia predictiva; y estimulará al no-conformista a refutar esa profecía. (No hay previsiones que se autosatisfagan intrínsecamente, ni tampoco previsiones que se autodestruyan por necesidad interna: hay personas dispuestas a rendirse y otras

que se resisten a capitular.) Pero de la eficacia causal que pueden tener las previsiones cuando los hombres las toman como guías para la acción nos ocuparemos en la sec. 11.3. Nuestra tarea inmediata consiste ahora en dilucidar el concepto de potencia predictiva.

Problemas

10.3.1. Todo político –si es que, como suele suponerse, los políticos son sagaces– será capaz de prever de cualquier gran crisis internacional que esa crisis va a resolverse. ¿Por qué? ¿Arriesgará una opinión acerca de cómo y cuándo se resolverá la crisis? ¿Y en qué circunstancias, si es que hay algunas, podría hacerlo? *Problema en lugar de ése*: En su asombroso libro de ficción científica *The World Set Free* (1914), H. G. Wells profetizó el descubrimiento de la radiactividad artificial para 1933 (se consiguió en 1919), la construcción de una planta para la producción de energía de origen nuclear para 1953 (un tal artefacto se construyó en 1951) y la explosión de la primera bomba atómica para 1959 (el hecho ocurrió en 1945). En cambio, Lord Rutherford, el descubridor de la radiactividad inducida, profetizó en 1933 que jamás se liberaría la energía nuclear, por no hablar ya de domarla y utilizarla. Analizar esta historia con los conceptos de profecía, prognosis e imaginación.

10.3.2. Analizar el modo como el físico C. G. Darwin hace previsiones "medias" en *The Next Million Years*, Garden City. Nueva York, Doubleday, 1953. El ejercicio consiste en hallar, enumerar y examinar los supuestos básicos (leyes y tendencias) en los cuales basa su proyección. *Problema en lugar de ése*: Examinar los consejos dados por S. Lilley a quienes tienen que hacer previsiones acerca de innovaciones científicas y tecnológicas, a saber: (*i*) Extrapolar las tendencias actuales y (*ii*) hacer pronósticos del tipo "Será posible visitar otros sistemas planetarios", sin precisar cómo ni cuándo. Cf. "Can Prediction Become a Science?", en B. Barber y W. Hirsch (eds.), *The Sociology of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, p. 148.

10.3.3. Algunos de los aceleradores de partículas de los actuales dispositivos de escisión atómica o fisión se construyeron con objetivos muy concretos, como la producción artificial de determinadas partículas desconocidas hasta el momento, pero predichas por la teoría. Así, por ejemplo, el bevatrón de Berkeley se planeó para producir antiprotones, y el protosincrotrón CERN se escogió para producir muones y piones. Discutir esos casos desde el punto de vista de la predicción y la planificación del descubrimiento científico.

10.3.4. Los metales tienen cierta "memoria", como muestra el fenómeno de su llamada fatiga; los líquidos tienen menos "memoria", pero de todos modos "recuerdan" por algún tiempo los movimientos de torbellino que se producen en ellos; los gases, por último, carecen casi completamente de memoria. En algunos casos importantes, la historia pasada del sistema no determina unívocamente su historia futura, o sea, que el sistema tiene poca "memoria" o ninguna; en otros casos (procesos de Markov) lo único relevante desde este punto de vista es el pasado inmediato: el sistema tiene una "memoria" de alcance corto. Examinar la memoria física en cuanto base objetiva de la retrodicción. Recuérdese la sec. 10.2.

10.3.5. Puede esperarse observar lo predicho, mientras que lo retrodicho es inobservable, puesto que ha dejado de existir. ¿A qué se debe entonces el que podamos someter nuestras retrodicciones a contrastación, y cuál es el resultado de esta diferencia entre la predicción y la retrodicción para la metodología de la proyección? *Problema en lugar de ése*: Estudiar la metodología y los logros de los historiadores sociales y económicos de la nueva escuela francesa –como F. Braudel y P. Vilar– agrupados en torno de los *Annales E. S. C.* de París.

10.3.6. El biólogo J. B. S. Haldane, en "On Expecting the Unexpected, *The Rationalist Annual*,

1960, p. 9, ha afirmado que "Una parte esencial del método científico consiste en esperar lo inesperado." ¿Puede ser ilimitada esa expectativa, o debe dejar de lado acontecimientos "prohibidos" por las leyes razonablemente conocidas en cada momento? ¿Y podríamos afinar esa expectativa de lo impredecible para conseguir una predicción más precisa? Si lo consiguiéramos, ¿no supondría eso una violación de la máxima de que siempre hay que hacer sitio para lo inesperado? Cf. el segundo problema 10.2.1.

10.3.7. ¿Sería posible la proyección a largo plazo si las leyes objetivas cambiaran? Considerar los casos de cambio de leyes casual y según leyes.

10.3.8. Examinar la argumentación de H. B. Acton según la cual la predicción de descubrimientos e inventos individuales es lógicamente imposible porque predecirlos sería hacer ya los descubrimientos y los inventos que se esperan. ¿Se aplica esa argumentación a las previsiones en esquema o esbozo de que se ha hablado en el texto? *Problema en lugar de ése*: Examinar la opinión según la cual los descubrimientos y los inventos individuales pueden preverse en esbozo sobre la base de las condiciones, los medios y los fines actuales, y que cuando se presentan los medios "los tiempos están ya maduros para la innovación", como confirma el hecho de que la innovación puede introducirse en ese momento por varios individuos que trabajen con independencia recíproca. Cf. J. R. Platt, *The Excitement of Science*, Boston, Houghton Mifflin, 1962, especialmente el cap. 4.

10.3.9. Examinar la refutación por K. R. Popper de la tesis de la predecibilidad histórica, tal como la expone en el prólogo a *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge and Kegan Paul, 1960. Reducida a su núcleo, la argumentación de Popper es como sigue: (*i*) El curso de la historia humana está intensamente influido por el aumento del conocimiento humano; (*ii*) el aumento del conocimiento humano es impredecible; (*iii*) por tanto, es impredecible también el curso futuro de la humanidad. ¿Vale la primera premisa para acontecimientos tales como la independencia de las naciones africanas a partir de la presente década de este siglo? ¿Y es la segunda premisa plausible a la vista de la creciente planificación de la investigación y de las aplicaciones tecnológicas de los principios científicos? Recuérdese que el proyecto Manhattan, y no es el único caso, se llevó aproximadamente a cabo según los esquemas previstos, y que el intervalo entre la innovación científica y la aplicación ha estado comprimiéndose constantemente en los últimos cien años. Comparar la actitud de Popper con la de los científicos sociales dedicados precisamente a prever grandes acontecimientos y tendencias. Cf. H. Hart, "Predicting Future Events", en F. R. Allen *et al.*, *Technology and Social Change*, Nueva York, Appleton-Century-Crofts, 1957.

10.3.10. Examinar la paradoja siguiente: El enunciado "x es impredecible" es una abreviatura de "Para todo t, si t es un instante del tiempo y x es un acontecimiento, entonces es imposible predecir x en t". Para todo valor de t que denote un instante futuro, la anterior fórmula se convierte en una predicción: predice impredecibilidad.

10.4. POTENCIA PROYECTIVA

Para que puedan considerarse científicas, las predicciones y las retrodicciones tienen que satisfacer ciertos requisitos que las distinguen de las conjeturas, las profecías y los pronósticos ordinarios (cf. sec. 10.1). Y las teorías factuales, para que se las pueda considerar científicas, tienen que dar de sí fórmulas proyectivas que satisfagan esos requisitos. En última instancia, pues, algunas de las condiciones puestas a los enunciados proyectivos se propagarán hacia atrás, hacia las premisas que implican las proyecciones. Estudiemos ahora esas condiciones.

Es obvio que una proposición proyectiva, si es que ha de tener un valor de contrastación o un valor práctico, no tiene que ser lógicamente verdadera, o sea, no tiene que ser verdadera en virtud de su forma o en virtud de las significaciones de sus signos componentes. Pues si fuera verdadera en ese sentido sería independiente de los hechos: no sería referente a hechos. El especialista de la previsión del tiempo decepcionaría grandemente (y le despedirían) si publicara previsiones como ésta: "Mañana nevará o no nevará", porque 'nevar' tiene presencia vacía en ese enunciado, es decir, puede sustituirse por cualquier otro verbo. Y tampoco sería mucho más apreciado nuestro especialista si anunciara algo así: "Mañana puede nevar", porque esta proposición modal es empíricamente indistinguible de la proposición contraria "Mañana puede no nevar". (Las únicas proposiciones de probabilidad que son contrastables en ciertas circunstancias son las cuantificadas.) Dicho brevemente: las fórmulas proyectivas tienen que ser sintéticas, dependientes de los hechos, y, además, tienen que serlo de una determinada manera, con precisión: no pueden ser elusivas ni librarse de todo riesgo y compromiso. Pero incluso eso es insuficiente: un enunciado puede estar muy determinado, no ser nada ambiguo ni vago y, sin embargo, resultar insusceptible de contrastación. He aquí un ejemplo: "Este libro disgusta a Zeus." Puesto que hay que compararla con registros de observación, una proposición proyectiva tiene que ser traducible sin grandes distorsiones a una *proposición observacional*, o sea, a una proposición que no contenga más que conceptos directa o indirectamente observacionales; hablando epistemológicamente, tiene que encontrarse a un nivel bajo. En resolución: una proposición proyectiva debe tener a la vez un *intenso contenido informativo* y un *alto grado de contrastabilidad*. O como también podemos decir, una proyección tiene que ser referencial y evidentemente determinada si es que ha de tenerse en cuenta como pieza de contrastación del cuerpo de hipótesis del cual se deriva.

Otro modo de decir la misma cosa es el siguiente: para que una proyección cuente como pieza de contrastación de una teoría científica tiene que especificar sin ambigüedades el hecho proyectado, de tal modo que podamos reconocerlo sin equívocos. (Esto no descalifica las predicciones laxas, ni las previsiones indeterminadas, del tipo de las comentadas en las dos secciones anteriores: sólo disminuye su valor de indicadores del grado de verdad de las teorías.) Una especificación prácticamente completa del hecho proyectado deberá incluir los puntos siguientes: (*i*) la *clase* de hecho de que se trate, por ejemplo, que consiste en la síntesis de cierta molécula de ácido nucleínico; (*ii*) la *condición* en la cual se produce el hecho, por ejemplo, los reactivos inicialmente presentes, la presión, la temperatura etc.; (*iii*) las circunstancias en las cuales se *observará* o podría observarse el hecho por un operador que manejara un determinado equipo experimental, por ejemplo, la cantidad de ácido suficiente para que las técnicas de análisis disponibles lo detecten.

Tanto la naturaleza del hecho cuanto las condiciones de su producción y observación pueden especificarse exactamente dando los valores de sus variables cuantitativas características; pero esa caracterización cuantitativa no siempre es técnicamente posible, y a veces no es tampoco necesaria. Habrá en cambio que recoger entre los valores de las variables relevantes el tiempo en el cual se espera que ocurra el hecho proyectado, si es que la pregunta inicial que determinó la inferencia proyectiva pregunta también por dicho tiempo. Si se satisfacen todas esas condiciones, podemos decidir, antes de cualquier

contrastación empírica, que, cualquiera que sea el valor veritativo de la proyección, este valor dependerá críticamente *sólo del hecho* y, consiguientemente, que la contrastación de la proyección será relevante para la de la teoría. Esa dependencia respecto de lo fáctico tiene que establecerse antes de proceder a la contrastación o a la aplicación: de no ser así, la contrastación podría ser poco de fiar y la aplicación irrelevante.

Ahora bien: los requisitos de contenido en información (determinación referencial) y de contrastabilidad (determinación evidencial) pueden satisfacerse en medidas diversas. Cuando una proposición proyectiva sobresale en su cumplimiento de esas condiciones podemos decir que tiene un gran *contenido proyectivo.* El contenido proyectivo de las proposiciones lógicamente verdaderas, el de las profecías y oráculos y el de los enunciados de posibilidad sin cuantificar es aproximadamente nulo; algo más alto es el de los pronósticos empíricos; máximo el de las proyecciones cuantitativas. ¿Podemos hacer algo más que ordenar las proyecciones respecto de su contenido proyectivo: podemos cuantificar el concepto de contenido proyectivo? Se han hecho dos propuestas para medir el contenido proyectivo, y ambas suponen el concepto de probabilidad. La primera propuesta consiste en identificar contenido proyectivo con probabilidad, basándose en que las proyecciones mejores son las que más probablemente se cumplirán. Formulado con brevedad, este primer punto de vista consiste en sentar que *Contenido proyectivo = Probabilidad.* La segunda propuesta se inspira en la observación de que las profecías de los gitanos son casi tan inútiles como las tautologías precisamente porque son demasiado probables. Por eso, según este punto de vista, el contenido proyectivo y la probabilidad serían inversos entre sí, o sea: *Contenido proyectivo = 1 – Probabilidad.* Las dificultades propias de cada propuesta empiezan en cuanto intentamos medir la probabilidad en cuestión, o sea, en cuanto que planteamos las siguientes preguntas: (*i*) ¿Cuál es el argumento de la función probabilidad, o sea, de qué es P una probabilidad?; y (*ii*) ¿Cómo debe estimarse el valor numérico de la probabilidad a base de la experiencia?

*Como estamos hablando del contenido proyectivo de proposiciones podría parecer que el argumento de la función probabilidad tiene que ser un enunciado, *e*, o sea, que tendríamos que escribir fórmulas del tipo $P(e)$. Y como un enunciado proyectivo se refiere a algún hecho, *h*, también podríamos escribir '$P[e(h)]$' para indicar la probabilidad del enunciado *e* que expresa el hecho *h*. Esta probabilidad (epistemológica) tiene que distinguirse de la probabilidad (física) $P(h)$ del hecho mismo. Efectivamente: mientras que de $P(h)$ se supone que es una propiedad disposicional de un trozo de realidad, $P[e(h)]$ depende del estado de conocimiento humano que sugiere la formulación del enunciado *e*. Las dos probabilidades son pues, conceptualmente diferentes y, en general, difieren también numéricamente. Además, no tienen relación entre ellas, como mostrará el caso siguiente. Consideremos la dispersión de los neutrones sobre un núcleo atómico. La colisión de un neutrón solo con el núcleo es sumamente improbable (hablando el lenguaje de la frecuencia relativa, es un hecho infrecuente), a causa del pequeño blanco que es un núcleo (es un blanco del orden de 10^{-24} cm^2). Pero la teoría física puede hacer frecuentemente predicciones discretamente precisas de tales acontecimientos improbables; dicho de otro modo: frecuentemente pueden hacerse predicciones con un pequeño error probable respecto de tales acontecimientos improbables. Supongamos que ponemos en ecuación la probabilidad de la predicción con su precisión. O sea, llamando ε al error proba-

ble, que ponemos: $P[e(h)] = 1-\varepsilon$, fórmula en la cual '*e*' representa la proyección que describe el hecho *h*. Sobre esta base tenemos una predicción científica (de un acontecimiento sumamente improbable) que tiene tanta probabilidad como la adivinación de un gitano y, al mismo tiempo e innegablemente, mucho contenido predictivo. Este contraejemplo basta para liquidar la idea de identificar la proyectabilidad con la improbabilidad; lo notable es que el ejemplo del gitano arruina también la identificación de la proyectabilidad con la probabilidad.

Además, rara vez determinamos la probabilidad de una proposición, ni antes de contrastarla ni como resultado de haberla contrastado. Y ello, en primer lugar, porque la frase 'probabilidad de una proposición' es tan ambigua que apenas resulta significativa; lo que puede recibir una significación clara y determinada es la frase 'la probabilidad de que una proposición *p sea verdadera* dada (o supuesta) la verdad de la(s) proposición(es) *q*', o sea, la probabilidad condicional $P(p/q)$, y no la probabilidad absoluta $P(p)$. (Sobre probabilidad condicional, cf. sec. 7.5.) En segundo lugar, porque la determinación del valor numérico de una tal probabilidad anterior a la contrastación es imposible a menos de suponer un mecanismo determinado y finito, como el modelo de la urna (usado, dicho sea de paso, para calcular la probabilidad de las hipótesis genéticas). Lo que estimamos es el *rendimiento* de un sistema en la realización de una tarea proyectiva. Pero, como es obvio, eso no puede hacerse más que *después* de una secuencia de contrastaciones empíricas, porque un tal rendimiento no es más que una medida de la extensión en la cual la proyección concuerda con los registros empíricos relevantes. Y como lo que más nos interesa es esa adecuación de nuestras proyecciones, desplazaremos el conjunto de la discusión desde el terreno de la probabilidad al de la *verdad*. (En la sec. 7.5 se arguyó que la probabilidad es una medida completamente inadecuada del grado de verdad.) Y como las proyecciones científicas se derivan en el marco de teorías, haremos otro desplazamiento más, pasando de proyecciones aisladas a *conjuntos* enteros de proyecciones pertenecientes a una teoría.

Deseamos obtener proyecciones máximamente verdaderas, con la esperanza de que esto será un síntoma de la verdad de las teorías utilizadas para calcularlas. En última instancia, tanto para fines cognoscitivos cuanto para fines prácticos lo que buscamos es teorías probables (aunque refutables). Pero, para fines de contrastación, no seremos tan ingenuos (ni poco honrados, según los casos) como para seleccionar las proyecciones más probables o verosímiles de entre todas las suministradas por nuestra teoría, porque son las más triviales y las que menos difieren de las proyecciones suministradas por teorías antes aceptadas. No debemos sentir el ansia de confirmar constante y repetidamente las opiniones sostenidas por el anterior cuerpo de creencias: lo que deseamos es someter a contrastación las nuevas, las consecuencias aún no familiares de la teoría que queremos estimar (si es que efectivamente es ése nuestro objetivo). Consiguientemente, tenemos que distinguir entre la *verosimilitud anterior* de una proyección y su *verosimilitud posterior*. Lo mismo puede decirse de la teoría que le dio origen.

Dicho de otro modo: para fines de *contrastación* no vamos a elegir las proyecciones de confirmación más probable, sino –de acuerdo con Peirce y Popper– las que, a tenor del conocimiento previo (sin incluir la teoría considerada), son de confirmación menos verosímil. (Obsérvese que esto excluye automáticamente el uso de la probabilidad, pues-

to que el conjunto de proyecciones que elegimos para fines de contrastación no es una muestra al azar de nuestra teoría: eso responde a las dos propuestas sobre el contenido proyectivo antes comentadas.) Hasta nuevo aviso en contra, *adoptaremos* todas y sólo las proyecciones que estén empíricamente confirmadas, de tal modo que tengan un alto grado de verdad sobre la base de la teoría y la experiencia a la vez (verosimilitud posterior). No hay incompatibilidad entre el primer precepto, que nos manda elegir para fines de contrastación las hipótesis más audaces, y la última regla, según la cual hay que adoptar las proyecciones mejor confirmadas. La primera norma se aplica, en efecto, antes de la contrastación empírica, y la segunda después de ésta.

Someteremos, pues, a contrastación las proyecciones t_i derivadas en la teoría T y que tienen, consiguientemente, el valor veritativo teorético máximo, $V(t_i/T)$, pero con pequeño valor veritativo previo, $v(t_i/A)$, sobre la base del conocimiento anterior A. Si t_i supera la contrastación empírica, la adoptaremos provisionalmente; en este caso atribuiremos a t_i un alto grado de verdad, $V(t_i/TE)$, respecto de la teoría y de la nueva experiencia. Tomamos, pues, en sustancia, las siguientes reglas.

Regla 1. Para fines de contrastación, seleccionar las proyecciones t_i tales que los $V(t_i/T)$ son altos y los $V(t_i/A)$ bajos.

Regla 2. Adoptar (hasta nuevo aviso) las t_i obtenidas en T que han superado la contrastación empírica, o sea, las que tienen valor máximo $V(t_i/TE)$.

Esas reglas recogen la diferencia obvia, pero a menudo despreciada, entre contrastar una conjetura y adoptarla o creer en ella. La Regla 1 satisface la máxima deductivista *Poner a prueba la hipótesis más arriesgada*, mientras que la Regla 2 se atiene a la máxima inductivista *Adoptar la hipótesis mejor confirmada*. Las dos reglas son mutuamente compatibles, aunque no sea más que porque se refieren a operaciones diferentes: la contrastación y la adopción. Por eso su aceptación simultánea contribuye a salvar el hiato entre el deductivismo y el inductivismo.

Las anteriores reglas sugieren varias maneras de medir el rendimiento proyectivo. En lo que sigue se presenta una de ellas. Si la experiencia confirma unas cuantas proyecciones precisas dotadas de escasa verosimilitud previa, $V(t_i/A)$, podemos decir que la teoría madre de todas ellas, T, que las implica, tiene un rendimiento proyectivo apreciable. (La *potencia* proyectiva total de la teoría no es en cambio susceptible de estimación: su determinación requeriría la derivación efectiva del conjunto infinito $\{t_i\}$ de las proyecciones y la contrastación empírica de cada una de ellas.) Cuanto más numerosas y precisas son las proyecciones suministradas por la teoría, tanto mayor es su rendimiento proyectivo. La teoría de la evolución de Darwin puede servir como ejemplo de la clase de las teorías que tienen un alto rendimiento proyectivo (aunque sus proyecciones sean laxas, y no estrictas, como vimos en la sec. 10.3); esa teoría hizo, entre otras, la heterodoxa proyección de que probablemente se encontrarían fósiles análogos a los de los monos e interpretables como restos de antepasados nuestros. Una teoría que suministre proyecciones originales y, al mismo tiempo, verdaderas, orientará la investigación en búsqueda de su propia evidencia. Toda proyección original, si se confirma, constituye evidencia nueva en favor de la teoría y, si se refuta, en contra de ella. Aún más: en algunos casos

–como la teoría ondulatoria de la luz debida a Fresnel, la teoría darwinista del origen del hombre y la teoría einsteiniana de la gravitación–, los hechos proyectados constituyen al mismo tiempo la primera evidencia en favor de (o contra) la teoría. Es claro que si una tal proyección original resulta verdadera, el grado de valor que atribuiremos a la teoría será mucho más elevado que si la teoría se hubiera estructurado de acuerdo con un conjunto dado de hechos (sistematización *ad hoc*).

*Una medida adecuada del rendimiento proyectivo de una teoría sería, pues, una función de las diferencias $V(t_i/AE)-V(t_i/A)$ entre el valor veritativo posterior y el valor veritativo anterior de las proyecciones, t_i, de la teoría. Esas diferencias serán nulas en el caso de que las t_i estuvieran ya confirmadas y la teoría, lejos de ser nueva en algún respecto, fuera parte del conocimiento anterior. Serán grandes si las t_i son completamente ajenas a A, esto es, si $V(t_i/A) = 0$. Y las diferencias serán máximas si las t_i son falsas según A, o sea, en el caso $V(t_i/A) = -1$: A continuación se da una fórmula sencilla, aunque no necesariamente adecuada, del rendimiento proyectivo $\Pi(T)$, de una teoría T que implique las proyecciones t_i, estimadas por el conocimiento A y los resultados, E, de los procedimientos empíricos:

$$\Pi(T) = \sum_{i=1}^{N} [V(t_i/AE) - V(t_i/A)] \qquad [10.1]$$

La sigma mayúscula representa la sumación sobre i entre 1 y $N (< \infty)$, que es el número total de contrastaciones llevadas a cabo. Es claro que esa fórmula representa la suma de las diferencias entre las verosimilitudes posteriores y anteriores de las proyecciones, t_i, de la teoría T. Cuando se trate de grandes números de contrastaciones será interesante introducir el concepto de *rendimiento proyectivo relativo* $\Pi_r(T)$:

$$N >> 1, \qquad \Pi_r(T) = (1/N)\, \Sigma_i\, [V(t_i/AE) - V(t_i/A)] \qquad [10.2]$$

Insistimos en que, puesto que N es el número de las proyecciones efectivamente sometidas a contrastación, esas fórmulas no miden la potencia proyectiva de una teoría; pero pueden considerarse como fuentes de *estimaciones* groseras de la misma, del mismo modo que el muestreo suministra una imagen aproximada de una población entera. En la cuestión que estamos estudiando decidimos atribuir tanto peso al cuerpo de experiencia nueva E como al cuerpo de conocimiento antecedente A. O sea: convenimos en que el valor veritativo de una proposición t_i respecto de AE es igual a la medida de sus valores veritativos respecto de A y de E por separado:

$$V(t_i/AE) = (1/2)\, [V(t_i/A) + V(t_i/E)] \qquad [10.3]$$

Introduciendo esta fórmula en [10.2] obtenemos finalmente:

$$N >> 1, \qquad \Pi_r(T) = (1/2\, N)\, \Sigma_i\, [V(t_i/E) - V(t_i/A)] \qquad [10.4]$$

$\Pi_r(t)$ tiene su valor mínimo, –1, cuando las N proyecciones quedan empíricamente refutadas y, al mismo tiempo, son conformes al conocimiento antecedente (el cual es

entonces claramente superior a la nueva teoría); en este caso, efectivamente, cada término de la suma es igual a $-1/N$, y el total suma $-N/N = -1$. El valor máximo, $+1$, de $\Pi_r(T)$ corresponde a un conjunto de proyecciones todas las cuales están empíricamente confirmadas y, al mismo tiempo, contradicen creencias anteriores; pues en este caso cada término aporta $(1/2N)\,[1 - (-1)] = +1/N$ al valor total $N/N = 1$. Por último, para una teoría *ad hoc* que recoja E y obedezca a A, se tiene $\Pi_r(T) = 0$. En resolución: el rendimiento proyectivo definido por [10.4] se encuentra entre los límites -1 (cuando las N proyecciones quedan falsadas) y $+1$ (cuando las N proyecciones quedan empíricamente confirmadas y son máximamente originales).

El mismo resultado se obtiene partiendo de la observación de que el rendimiento proyectivo de una teoría es tanto mayor cuanto más original y menos imprecisa sea. Esto es: $\Pi(T) \propto O(T) - I(T)$. Ahora bien, la originalidad de T respecto del cuerpo de conocimiento antecedente A queda dada por las diferencias $V(t_i/T) - V(t_i/A)$ entre los valores veritativos atribuidos a las t_i en base a T y los calculados en base al supuesto de que vale A. Podemos, pues, escribir, también para valores grandes de N,

$$O_r(T) = (1/2N)\, \Sigma_i\, [V(t_i/T) - V(t_i/A)] \qquad [10.5]$$

Como $V(t_i/T)$ es próximo a 1 y $V(t_i/A)$ se encuentra entre -1 (heterodoxia) y $+1$ (ortodoxia.), ningún sumando será negativo, y $O_r(T)$ se encontrará en algún lugar entre 0 (o cerca de 0) y 1. El mínimo de $O_r(T)$ corresponderá a una teoría que consista en una mera reordenación o reformulación de un sistema ya contenido en A. Y el valor máximo de originalidad, $+1$, corresponderá a una teoría que rompa con el cuerpo de conocimiento antecedente A.

Ahora bien: la audacia no es estimable más que en la medida en que coincide con una imprecisión mínima. Y el grado de imprecisión de T puede definirse con bastante naturalidad (pero también para valores grandes de N) del modo siguiente:

$$I_r(T) = (1/2N)\, \Sigma_i\, [V(t_i/T) - V(t_i/EA)] \qquad [10.6]$$

Como $V(t_i/T)$ cae cerca de la unidad, $0 \leq I_r(T) \leq 1$. Restando esta expresión de [10.5] y recordando [10.2], obtenemos

$$O_r(T) - I_r(T) = \frac{1}{2}\, \Pi_r(T) \qquad [10.7]$$

tal como suponíamos. Este resultado intuitivo refuerza la plausibilidad de nuestra técnica de medición, [10.2], del rendimiento proyectivo.

Recordando la fórmula [9.13] que daba el valor del alcance de una teoría (uno de los factores de la potencia o capacidad explicativa dilucidada en la sec. 9.6), fórmula que era

$$C_3(T) = (1/2N)\, \Sigma_i\, [V(t_i/AE) + V(t_i/T)] \qquad [10.8]$$

obtenemos el resultado obvio de que cuanto mayor es el alcance menor es la imprecisión, y a la inversa. Efectivamente: sumando [10.6] y [10.8] obtenemos:

$$C_r(T) + I_r(T) = (1/N)\ \Sigma_i\ V(t_i/T) \qquad [10.9]$$

Cuando, a causa de la introducción de supuestos simplificadores, no hay imprecisiones teoréticas de la derivación de las t_i, o sea, cuando $t \in T$, entonces la fórmula anterior se reduce a:

$$C_r(T) + I_r(T) = 1, \qquad [10.10]$$

que es simplemente una dilucidación de la idea intuitiva de que la imprecisión es el dual del alcance. Y sumando las expresiones relativas al alcance y a la originalidad obtenemos:

$$C_r(T) + O_r(T) = (1/N)\ \Sigma_i\ V(t_i/T) + \frac{1}{2}\Pi_r(T) \qquad [10.11]$$

$$= 1 + \frac{1}{2}\Pi_r(T) \text{ para } t_i \varepsilon\ T \qquad [10{:}12]$$

La interpretación de esta fórmula no ofrece dudas: la proyectabilidad se compone de alcance y originalidad, pero de tal modo que no podemos maximizar ambos elementos al mismo tiempo. Ésta es una de las varias razones que aconsejan no confundir la potencia explicativa con la potencia predictiva; pero hay otras razones más (cf. sec. 10.5).

Ilustremos las anteriores fórmulas aplicándolas a una teoría T, $N >> 1$ proyecciones de la cual se han contrastado empíricamente. Supongamos que, como frecuentemente ocurre, se han hecho aproximaciones al derivar las proyecciones; y supongamos también, por simplificar las cosas, que todas las aproximaciones introducen el mismo error teorético en porcentaje $\delta << 1$. Supongamos además que en toda contrastación se comete un error experimental, constante, ε, y que $0 \leq \varepsilon < 1$. Cierto número, R, de esas contrastaciones serán desfavorables (refutaciones), y otro número $C = N - R$, serán favorables (confirmaciones). Pasamos por alto la posibilidad, siempre presente, de contrastaciones inconcluyentes, o sea: hagamos la suposición simplista de que toda respuesta de experiencia es 'sí' o 'no'. Por lo que hace a la relación de las proyecciones al conocimiento antecedente, consideraremos dos casos extremos: (*i*) las t_i, concuerdan todas con lo que se sabía antes de que se introdujera la teoría (*ortodoxia*); (*ii*) las t_i se encuentran todas en contradicción con el conocimiento antecedente (*heterodoxia*). En resumen, nuestros supuestos son:

Para todo i, $V(t_i/T) = 1 - 2\delta$.
Para todo i entre 1 y C, $V(t_i/E) = 1–2\ \varepsilon$ (Confirmación).
Para todo i entre $c + 1$ y N, $V(t_i/E) = –1 + 2\varepsilon$ (Refutación).

Con un breve cálculo se encuentran los siguientes valores:

Teoría conformista: para todo i, $V(t_i/A) = 1$:

Alcance: $C_r(T) = 1/2 + C/2N + (R - C)\ \varepsilon/2N - \delta$
Imprecisión: $I_r(T) = R/2N + (C - R)\ \varepsilon/2N - \delta$

Originalidad: $O_r(T) = \delta \cong 0$
Rendimiento proyectivo: $\Pi_r(T) = -R/N + (R - C)\ \varepsilon/N \cong -R/N$

Teoría no conformista: Para todo i, $V(t_i/\mathrm{A}) = -1$:

Alcance: $C_r(T) = C/2N + (R - C)\ \varepsilon\ 2N - \delta$
Imprecisión: $I_r(T) = 1/2 + R/2N + (C - R)\ \varepsilon\ 2N - \delta$
Originalidad: $O_r(T) = 1 - \delta \cong 1$
Rendimiento Proyectivo: $\Pi_r(T) = C/N + (R - C)\ \varepsilon/N \cong C/N$

Lo mejor que puede ocurrirle a una teoría conformista es que encaje con experiencia nueva. En este caso $R = 0$ y $\Pi_r(T) = 0$; y lo peor que puede ocurrirle es que la experiencia nueva sea contraria a la teoría, $R = N$, en cuyo caso $\Pi_r(T) = -1$. Lo peor que puede ocurrirle a una teoría no conformista es que quede refutada, $C = 0$, en cuyo caso $\Pi_r(T) = 0$; pero si la teoría se confirma ($C = N$), su rendimiento proyectivo será máximo: $\Pi_r(T) = +1$. Es claro que nuestra preferencia por teorías de alto rendimiento proyectivo es una preferencia por teorías que *apuntan con precisión a gran número de hechos antes desconocidos*. En cambio, si estimáramos más el alcance (o el apoyo inductivo) que el rendimiento proyectivo, tendríamos que evitar nuevas teorías audaces y buscar más bien cautas sistematizaciones *ex post facto*.

El desideratum de rendimiento proyectivo máximo, entendido en el sentido que queda expuesto, parece estar en contradicción con el desideratum de consistencia óptima con el conocimiento aceptado (consistencia externa, cf. sec. 7.6). No hay contradicción, sin embargo, si estipulamos que la consistencia con el *núcleo* del conocimiento aceptado tiene que exigirse en todo caso y a toda teoría. Más precisamente: la nueva teoría no puede entrar en colisión más que con una parte de las creencias aceptadas, a saber, con la parte más vieja de la opinión establecida que la nueva teoría intenta rebasar. Pero la nueva teoría no exige una revolución simultánea en toda rama del conocimiento, ni debe tampoco violar los requisitos metacientíficos.

Nuestras fórmulas [10.2] y [10.4] sobre el rendimiento proyectivo de una teoría científica no pretenden suministrar un criterio tajante de la *aceptación* ni del *crédito* (grado de creencia racional o credibilidad) de una teoría. Primero, porque un alto rendimiento proyectivo no es la única propiedad valiosa que puede tener una teoría; vimos en la sec. 9.6 que también es valiosa la profundidad explicativa. En segundo lugar, porque ni siquiera el alto valor veritativo de las proyecciones de una teoría garantizan la verdad de la teoría misma, aunque no sea sino porque las mismas proyecciones habrían podido derivarse de supuestos diferentes. Por eso no hay que aceptar de modo definitivo ninguna teoría aunque su rendimiento proyectivo sea muy alto. Puede ocurrir que las N primeras proyecciones obtenidas con la ayuda de la teoría agoten el subconjunto de las proyecciones audaces y verdaderas, y que todas las demás (aún no deducidas ni contrastadas) sean trilladas o abiertamente falsas.

(Desde el punto de vista matemático, nuestras fórmulas sobre el rendimiento proyectivo de una teoría *no están bien determinadas*, puesto que en ellas $\Pi_r(T)$ depende del conjunto de proyecciones que efectivamente seleccionemos para contrastación. Puede incluso

ocurrir que nuestras fórmulas den valores diferentes para los rendimientos proyectivos de dos teorías de las que se haya mostrado que son empíricamente equivalentes. Para que tales fórmulas estuvieran bien determinadas tendrían que incluir el conjunto entero, $\{t_i\}$, de las proyecciones; o sea, la sumación sobre i tendría que llegar hasta $N = \infty$. En tal caso tendríamos fórmulas sobre la *potencia* proyectiva de las teorías, no ya sobre su efectivo rendimiento proyectivo. Pero tales fórmulas serían prácticamente inútiles, porque no podemos conocer las infinitas proyecciones derivables de un conjunto de supuestos. Y aunque pudiéramos deducirlas, contrastarlas y estimarlas, podría ocurrir que las sumas infinitas no fueran convergentes: por de pronto, los términos de esas sumas no obedecen a ninguna ley matemática, puesto que la verdad factual no es ninguna propiedad intrínseca. En resolución: el desideratum matemático de la determinación de las fórmulas es una condición sin interés en el caso de la cuantificación del rendimiento proyectivo. Lo mismo puede decirse de las fórmulas relacionadas con las vistas, especialmente de las referentes al alcance.)

Todo lo que nuestras fórmulas sobre el rendimiento proyectivo de una teoría tienden a dar es una grosera estimación de uno de los varios rasgos que pueden aconsejar la ulterior elaboración de una teoría, su discusión cuidadosa, su contrastación empírica y su aceptación provisional. Aún más: una estimación del rendimiento proyectivo, por ser a posteriori y depender de las técnicas de contrastación, puede cambiar en el curso del tiempo, a medida que se formulen y contrasten nuevas proyecciones, o a medida que se repita la contrastación de las proyecciones antes estimadas. Así, por ejemplo, el valor predictivo de la teoría newtoniana de la gravitación, considerado máximo hasta la mitad aproximadamente del siglo XIX, ha ido decayendo desde entonces, mientras que la teoría einsteiniana de la gravitación ha ido aumentando su potencia proyectiva desde sus comienzos hasta la mitad de la tercera década de este siglo. Esa potencia sigue constante hasta 1960 aproximadamente, y ha vuelto a aumentar luego, al obtenerse laboriosamente nuevas consecuencias de la teoría y confirmarse algunas de ellas empíricamente gracias a nuevas técnicas, como la de Mössbauer. Pero hay ya motivos para sospechar que incluso esta teoría resultará un día perfectible: una de esas razones es la intensidad con que está siendo de nuevo objeto de estudio.

En cierto sentido, pues, $\Pi(T)$ mide un aspecto del crecimiento del conocimiento; no el incremento de la capacidad de una teoría, sino más bien el crecimiento de la teoría misma. (La profundidad explicativa es otro índice del crecimiento del conocimiento.) Por otro lado, $\Pi(T)$ no es un índice de fiabilidad proyectiva, como lo sería si las teorías no fueran más que instrumentos (instrumentos de proyección). Consiguientemente, las estimaciones de (T) no tienen valor práctico. En el mejor de los casos, las anteriores fórmulas no sirven más que para fines de *dilucidación* de los conceptos de rendimiento proyectivo, originalidad y alcance. Esa dilucidación se ha hecho a base del concepto básico de verdad parcial, y no ha exigido ni el concepto de probabilidad ni la formulación de tesis epistemológicas u ontológicas de mucha entidad: es, por tanto, una dilucidación filosóficamente neutra (o sea, sin interés para ningún *ismo* filosófico).*

Problemas

10.4.1. Dar ejemplos de proyecciones tan imprecisas que o bien resultarán inevitablemente verdaderas o bien no puede imaginarse dato alguno relevante para ellas.

10.4.2. Mencionar casos destacados de teorías que hayan proyectado hechos previamente insospechados. Cf. (*i*) W. S. Jevons, *The Principles of Science*, Nueva York, Dover, 1958, cap. XXIV, secs. 6-11; (*ii*) W. B. Cannon, *The way of an Investigator*, Nueva York, W. W. Norton, 1945, cap. VI; (*iii*) R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, 2a. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, cap. III. Comentar la relevancia de tales hechos para la difundida doctrina según la cual las teorías no son más que sistematizaciones de datos y, consiguientemente, tienen que llegar siempre después de haberse descubierto y "recogido" los hechos relevantes.

10.4.3. ¿Es la capacidad de predecir o retrodecir hechos enteramente nuevos una propiedad milagrosa? Indicación: mostrar que parece milagrosa sólo si (*i*) olvidamos que la base de una teoría propiamente dicha es un manojo de hipótesis de alto nivel cuyas consecuencias se deducen paso a paso, y (*ii*) adoptamos una visión del mundo radicalmente pluralista, según la cual ningún hecho ni propiedad se encuentra en relación objetiva y según leyes con otros hechos o propiedades. *Problema en lugar de ése*: Examinar el caso de la predicción de la radiactividad de los protones, confirmada experimentalmente en 1963. ¿Habría sido posible sin inventar una hipótesis referente al mecanismo de la degradación (a saber, la repulsión eléctrica)?

10.4.4. Una proyección cuantitativa debe ir acompañada por un enunciado referente a la estimación del error probable de la proyección (que generalmente es una predicción). ¿Pertenece este último enunciado al enunciado proyectivo mismo, o es un metaenunciado? En el primer caso, ¿cómo podría producirlo una teoría sustantiva? En el último, ¿por qué decimos que las proyecciones científicas se derivan de teorías y no decimos que se obtienen con su ayuda?

10.4.5. Examinar la propuesta de medir el contenido predictivo (de enunciados) con el concepto de probabilidad. Cf. (*i*) A. Rapoport, *Operational Philosophy*, Nueva York, Harper & Brothers, 1954, pp. 176-177; (*ii*) K. R. Popper, *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963, Addenda 1 y 2. Aun suponiendo que ese principio de medición fuera adecuado, ¿podría ampliarse a teorías enteras, teniendo en cuenta que las varias proyecciones derivadas de una teoría están lejos de ser todas lógicamente independientes unas de otras?

10.4.6. Proponer una manera de medir la precisión de las teorías. Indicación: Probar con $P_r(T) = 1 - I_r(T)$. Averiguar si la sustitución de $I_r(T)$ por $1 - P_r(T)$ en las fórmulas del texto arroja alguna claridad.

10.4.7. ¿Es [10.4] aplicable a la comparación de los rendimientos proyectivos de dos teorías rivales?

10.4.8. Intentar establecer una fórmula que dé el contenido proyectivo de una proyección, de tal modo que éste aumente con el contenido informativo y la contrastabilidad.

10.4.9. Dilucidar la noción de cuerpo del conocimiento aceptado y el concepto de compatibilidad de una teoría con el cuerpo del conocimiento aceptado. Indicación: Descomponer A en un conjunto A' que permanezca incólume, sin ser puesto en tela de juicio, por el momento, y un conjunto T' de teorías discutibles.

10.4.10. Cuantificar el concepto de consistencia externa de tal modo que se convierta en el dual de la originalidad.

10.5. DIFICULTADES Y PARADOJAS

Vamos a estudiar ahora algunos sorprendentes rasgos de la proyección que no caracterizan la explicación. Empecemos por preguntarnos qué puede ser valor veritativo de una proposición proyectiva. Supongamos que el servicio meteorológico anuncia: 'Para mañana, tiempo lluvioso'. ¿Qué es ese enunciado hoy, es decir, antes de contrastarse con la observación de lo que ocurra mañana? ¿Es verdadero o falso? ¿Cómo podemos saberlo sin esperar a mañana? Y, si no sabemos el valor veritativo del enunciado, ¿podemos decir que exprese una proposición, es decir, una fórmula dotada de un determinado valor veritativo? Si negamos que la previsión tenga valor veritativo antes de contrastarla, tenemos que inferir que no es una proposición. Pero entonces tendremos que explicar el milagro consistente en que un conjunto de premisas de la proyección (generalizaciones y datos), de las que se supone que son proposiciones, puedan engendrar algo que no es una proposición. Si, por el contrario, afirmamos que nuestro enunciado predictivo tiene un valor veritativo ya antes de la contrastación, y, al mismo tiempo, admitimos que no sabemos cuál es ese valor veritativo, parece que estemos consagrando un reino platónico de las ideas que no puede ser completamente obra nuestra, puesto que no sabemos si cualquiera de ellas es verdadera o no. En cualquier caso parecemos sumirnos en el misterio.

La segunda dificultad es como sigue. Admitimos que, cuando el servicio meteorológico anuncia 'Para mañana, tiempo lluvioso', piensa que el hecho previsto es posible y hasta muy factible, pero no cierto. Ahora bien: si la previsión es verdadera en el momento que se le hace, entonces parece necesario que mañana llueva, lo cual está en contradicción con la afirmación de que la lluvia es meramente posible. Y si la previsión es falsa en el momento de su nacimiento, parece imposible que llueva mañana, lo cual también está en contradicción con la suposición de que la lluvia y su ausencia son meramente posibles. Para evitar una y otra conclusión tenemos que suponer que las previsiones no tienen valor veritativo o que los hechos a que se refieren no son posibles, sino imposibles o necesarios.

Supongamos, por último, que ya es el día objeto de la previsión y que efectivamente llueve. Podemos entonces decir justificadamente 'Llueve' o hasta 'Llueve según estaba previsto'. Pero ¿podemos decir que el enunciado 'Para mañana, tiempo lluvioso' se ha verificado, es decir, que ha resultado verdadero? La previsión no era 'Hoy, tiempo lluvioso', sino 'Para mañana, tiempo lluvioso', y parece que hoy no hay nada con lo cual comparar la previsión: el enunciado verdadero 'Llueve' no parece ser coherente con la previsión 'Para mañana, tiempo lluvioso' (lo cual sería un aparente fallo de la doctrina de la verdad como coherencia); por lo demás, la previsión 'Para mañana, tiempo lluvioso' no parece tampoco describir la lluvia que está cayendo ahora (fallo aparente, ahora, de la teoría de la verdad como correspondencia).

Empecemos por la última paradoja, porque es la más sencilla. No pasa de ser, en efecto, un mal truco del lenguaje ordinario. La paradoja se disuelve si se sustituye 'Para mañana, tiempo lluvioso' por 'Para el día tal, tiempo lluvioso', o sea, si se da la fecha exacta. Hasta aquí, pues, se salvan las teorías de la verdad como coherencia y como correspondencia. ¿Qué decir de la segunda paradoja, que contiene la categoría de la posibilidad? El modo más sencillo de salir de ella consiste en considerar los enunciados proyectivos como

meramente posibles: en vez de insistir en que "Para mañana, tiempo lluvioso" tiene que ser verdadera o falsa, podemos decir que es simplemente posible para "Para mañana, lluvioso" el ser verdadera o falsa. Otra solución consiste en atribuir posibilidad a los hechos mismos, no a las proposiciones que los expresan: o sea, afirmar "Probablemente lloverá mañana", o "Es probable que llueva mañana". Pero la previsión no puede reinterpretarse a voluntad, puesto que se ha deducido de premisas determinadas; tales reinterpretaciones a voluntad violarían el requisito de cierre semántico (cf. sec. 7.2). Si sostenemos que el autor de la previsión quiere decir forzosamente que probablemente lloverá mañana, en el sentido de que el tiempo muestra cierta tendencia a ser lluvioso, entonces debemos mostrar que por lo menos una de esas premisas era un enunciado probabilístico, puesto que los enunciados de probabilidad no pueden deducirse más que de otros enunciados de probabilidad. Y esto puede ser falso, especialmente si la previsión se hizo con base en consideraciones de física de la atmósfera, más que con la ayuda de generalizaciones de nivel bajo. (De paso, por lo demás, lo que inicialmente era una previsión bien determinada se ha convertido en una profecía imprecisa o incontrastable.)

Vamos a probar suerte con la primera reinterpretación, a saber, que la proposición "Para mañana, tiempo lluvioso" debe considerase como posible o recibir un tercer valor veritativo (indeterminado). Ésta fue, dicho sea de paso, la propuesta que dio origen a la lógica de tres valores. Pero entonces tendremos que seguir esa indeterminación hacia atrás, hasta las premisas que implican la previsión, y esto va también contra el principio de cierre semántico. Ahora bien: si declaramos que las generalizaciones o los datos son posibles o indeterminados, tenemos que ser consecuentes y adoptar una nueva lógica durante toda la argumentación: algún sistema de lógica modal en el primer caso y un cálculo de tres valores en el último. Pero esto sería ya literatura de ficción científica: en la ciencia factual, y para la derivación de proyecciones, utilizamos siempre las teorías lógicas y matemáticas ordinarias (extensionales y de dos valores) que van ya incluidas en ella. Consiguientemente, la introducción de las modalidades y de valores veritativos indeterminados en este momento es lógicamente ilegítimo. El procedimiento sería legítimo si el conjunto de la matemática y la ciencia factual se reformulara a base de algún sistema de lógica no-ordinaria. Pero este proyecto, además de ser utópico, tendría la indeseable consecuencia de que el número de las proposiciones incontrastables crecería más allá de todo límite (cf. secs. 5.6 y 10.4, sobre la incontrastabilidad de los enunciados de posibilidad).

Lo mismo vale para nuestra primera paradoja, que es la más grave de todas: de hecho, cuando derivamos una proyección utilizamos la lógica ordinaria y/o la matemática; esto implica que, para fines de inferencia, suponemos que nuestras premisas tienen un valor veritativo definido, aun sabiendo que por lo común son groseras aproximaciones y que los valores veritativos que se les atribuyen tendrán posiblemente que modificarse una vez contrastada la proyección. Dicho brevemente: entendemos nuestras premisas como proposiciones; si no fuera así no seríamos capaces de manejar la máquina lógico-matemática. ¿Nos obliga esto a profesar el platonismo? Sí, si se mantiene la corriente teoría monista de la verdad; no, si se adopta una *teoría dualista de la verdad*, compatible con una gnoseología falibilista. Esta teoría supone que toda premisa factual que se presenta en un razonamiento (por ejemplo, en la derivación de una predicción) se afirma como pura y

simplemente verdadera (o falsa) *en interés del razonamiento*, y, al mismo tiempo, como aproximadamente verdadera, a lo sumo, por lo que hace a su correspondencia con los hechos, según contrastación empírica. Dicho de otro modo: para fines inferenciales tratamos las premisas del projectans *como si* fueran completamente verdaderas (o falsas), aunque podamos a veces presumir confiadamente que son parcialmente verdaderas.

La teoría dualista de la verdad parece corresponder al procedimiento realmente seguido en la investigación: pues al elaborar las consecuencias contrastables de nuestros supuestos iniciales, adelantamos la *ficción* inicial de que nuestras premisas son enteramente verdaderas, razón por la cual las llamamos premisas o supuestos. En realidad, en esos casos estamos diciendo o afirmando implícitamente: 'Supongamos que las generalizaciones G y los datos C son verdaderos: supongámoslo sólo en interés del razonamiento; entonces la proyección p se sigue de ellos, y p es verdadera en ese supuesto. A pesar de ello, desconfiemos de p, y consiguientemente de G y C, y sometamos p a contrastaciones. Sobre la base de éstas atribuyamos a p un nuevo valor veritativo (que en general diferirá de la estimación inicial). Por último, atribuyamos a las premisas un valor veritativo de acuerdo con los resultados de la contrastación, y corrijámoslos si es necesario (cf. fig. 10.12).

Si atribuimos a las premisas de nuestra proyección dos valores veritativos, uno teorético y otro empírico, entonces las proyecciones derivadas de ellas tendrán también un *status* dual: nuestra fórmula proyectiva será teoréticamente verdadera si la inferencia proyectiva es exacta, pero carecerá de valor veritativo empírico mientras no está contrastada. Dicho brevemente: antes de contrastar el teorema p_i no le atribuimos un valor veritativo total, sino sólo una verosimilitud previa o anterior, o sea, un cierto grado de verdad sobre la base de la teoría T, en la que está deducido, y del conocimiento antecedente A. (Esta dualidad quedó recogida en nuestro tratamiento del rendimiento proyectivo, en la sec. 10.4.) No se trata de que nuestra proyección p tenga constantemente un valor veritativo empírico que no podamos aún *conocer*: nuestra proyección no tiene más que la capacidad de admitir tal propiedad y el que la adquiera o no dependerá de circunstancias extrínsecas, como la viabilidad técnica y el interés de la contrastación empírica. También podemos decir que una proyección, mientras no ha sido contrastada, es potencialmente verdadera o falsa por lo que hace a la experiencia: puede adquirir un valor veritativo empírico, pero también es posible que nadie se moleste en ponerlo a prueba; de modo que no es cosa de necesidad el que una proyección adquiera un valor veritativo empírico. Además: mientras que el valor veritativo anterior o previo o la verosimilitud previa de

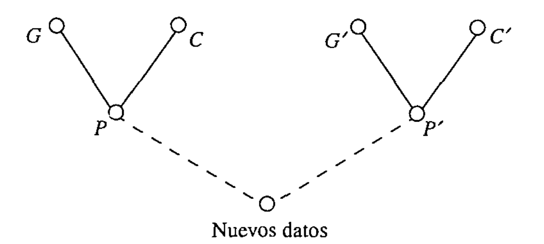


FIGURA 10.12. Corrección posterior de las premisas: la contrastación nos obliga a adoptar p' en vez de p, y p' nos obliga a buscar nuevas premisas G' y C'.

una proyección pueden ser altos (si no se añaden simplificaciones en su derivación a partir de las premisas dadas), su valor veritativo empírico puede encontrarse en cualquier punto entre la falsedad y la verdad.

Ahora bien: las contrastaciones empíricas que nos permiten atribuir un valor veritativo completo (empírico y teorético) a una proyección pueden no ser definitivas. Una proyección cualitativa, como "Para mañana, tiempo lluvioso", puede en muchos casos formularse con ese carácter definitivo, de una vez para siempre. En cambio, las contrastaciones de una proyección cuantitativa pueden tener que repetirse, y es posible que no coincidan los varios resultados, a causa de la diversidad de técnicas y de circunstancias. La decisión, si es que podemos conseguirla, será provisional y variará en el curso del tiempo. Dicho brevemente: los valores veritativos empíricos *dependen del tiempo* (cf. fig. 10.13). Esa afirmación escandalizará seguramente a los platónicos y a los que no piensan más que en la verdad formal (lógica o matemática). Pero es exactamente lo que entiende todo el mundo cuando dice que una determinada predicción *puede resultar verdadera en alguna medida* en el futuro.

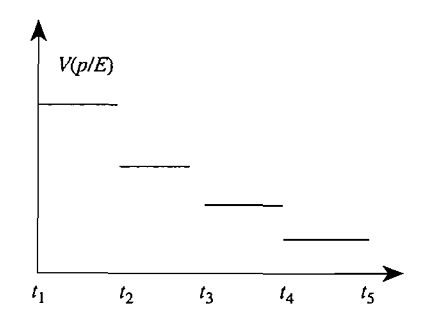


FIGURA 10.13. La dependencia de la verdad empírica respecto del tiempo: contrastaciones empíricas sucesivas, practicadas en los tiempos t_1, t_2 ... pueden dar valores veritativos empíricos diferentes $V(p/E)$ para la proyección p.

La tesis de que la verdad empírica es dependiente del tiempo podría ignorarse diciendo que el predicado 'es verdadero' es tan independiente del tiempo como de la temperatura o de la situación política. Pero esa objeción es meramente analógica y se basa en una incomprensión de la naturaleza del tiempo, el cual es una variable física sin eficacia causal. La proposición "p es verdadera en el tiempo t" es una abreviatura de la siguiente proposición más larga: "p resulta verdadera a tenor del conocimiento previo y la evidencia empírica disponibles en el tiempo t". O también: "p resulta verdadera a tenor del conocimiento antecedente y de la evidencia empírica disponible al producirse el hecho x". (La variable temporal es siempre eliminable mediante una referencia a hechos contemporáneos.) Decir que la verdad depende del tiempo es, pues, lo mismo que decir que los valores veritativos se atribuyen siempre en base a un cuerpo de conocimiento que cambia en el tiempo. Dicho de otro modo: decir que la verdad depende del tiempo equivale a decir que la verdad es contextual, que no es una propiedad intrínseca de las proposiciones, sino que es relativa al sistema que efectivamente se utilice en la atribución de valo-

res veritativos. O sea: la verdad factual no es *inherente* a las proposiciones, sino que se afirma *de* las proposiciones, lo cual requiere el uso de metaenunciados. Una proposición factual p requiere un metaenunciado epistémico P referente al valor veritativo de p, y P depende tanto de p cuanto del conocimiento disponible, así como de los criterios veritativos adoptados en el momento de practicar la estimación (recuérdese lo dicho en la sec. 2.1).

Así pues, la verdad y la falsedad factuales no son caracteres innatos, sino adquiridos. Somos nosotros los que atribuimos a cada proposición factual (ya ella misma obra nuestra) ora un valor veritativo, ora otro, según se desarrolle el cuerpo general del conocimiento disponible. Y ello es así hasta el punto de que muchas veces ni siquiera nos preocupamos de atribuir un valor veritativo empírico a una proposición dada, porque la tarea puede no tener valor práctico, o quedar más allá de nuestras actuales posibilidades. Y una situación así no es paradójica, porque, para que una fórmula pueda considerarse como una proposición propiamente dicha, tiene que poseer *algún* valor veritativo, y la teoría dualista de la verdad tiene en cuenta la situación descrita, al postular que toda proposición, para merecer un examen crítico, tiene que pertenecer a algún contexto, en el cual se le atribuye un determinado valor veritativo teorético, completamente aparte de lo que pueda decir al respecto la experiencia.

La teoría dualista de la verdad resuelve, pues, la primera paradoja de la proyección. La cuarta es como sigue: supongamos que olvidemos el proceso por el cual se atribuye a una proyección un valor veritativo y que recaigamos en el punto de vista ingenuo según el cual la proposición es de un modo intrínseco factualmente verdadera o falsa. Tenemos entonces dos posibilidades: o bien la proyección es verdadera –pero entonces no necesitamos esperar que se produzca o resulte no producible el hecho proyectado– o bien la proyección es falsa –y en este caso hay aún menos razón para esperar su contrastación empírica. En cualquier caso, pues, el supuesto de que las proyecciones nacen ya con un valor veritativo total lleva a la conclusión de que la experiencia es irrelevante. Por tanto, habría que inferir de aquel supuesto que las proyecciones son proposiciones analíticas. Esta absurda consecuencia se sigue de la suposición de que las proposiciones factuales tienen un valor veritativo único; si se sustituye ese supuesto por la tesis del valor veritativo doble (teorético y empírico) de toda proposición factual, se disuelve sin más el rompecabezas.

Nuestro quinto problema ha sido causa de insomnio para escépticos y empiristas durante dos mil años. Es el problema que puede formularse así: "¿Por qué hemos de confiar en ciertas predicciones?" Hume (1740) pensaba que ni la lógica ni la experiencia dan fundamento a esa confianza. He aquí un resumen de su razonamiento: la predicción es "la trasposición de la experiencia pasada al futuro". Esa trasposición exige el supuesto de que "el futuro se parece al pasado". Pero ese supuesto se deriva enteramente del hábito, no arraiga en la naturaleza de las cosas. No es en absoluto necesario que se mantenga en el futuro la conjunción frecuente o constantemente observada de varios hechos; no tenemos razón alguna para suponer que esa conjunción persistirá más allá de las series de observaciones, y la lógica por sí misma es también importante para garantizar eso. En conclusión: nuestra creencia o seguridad en nuestras previsiones es completamente arbitraria.

Hume tenía desde luego razón al afirmar la *falibilidad* de la predicción; pero eso no implica que la predicción aproximada sea completamente arbitraria, carezca de todo fun-

damento. Aún más: las razones que da Hume para llegar a esa conclusión no son válidas. En primer lugar, Hume no está pensando en la predicción *científica*, sino en la prognosis ordinaria que se basa en generalizaciones de sentido común referentes a la sucesión, la conjunción, la correlación o las frecuencias empíricamente halladas, como, por ejemplo, "De cada veinte naves, una no vuelve a puerto" (ejemplo favorito de nuestro autor). Ahora bien: el pronóstico ordinario es en la mayoría de los casos, según las palabras de Hume, una trasposición de la experiencia pasada al futuro, pero la predicción científica es una operación conceptual que trasciende la experiencia porque se basa en enunciados de leyes, y no en resúmenes inductivos. A diferencia del pronóstico ordinario, la predicción científica no necesita anticipar la repetición del pasado: podemos predecir hechos de una clase aún no experimentada, y hasta hechos que van a ocurrir por vez primera en la historia del mundo, como por ejemplo, la trayectoria de un cohete dirigido a Venus. En segundo lugar, es sin duda cierto que las "leyes" del conocimiento común no tienen por qué mantenerse siempre, y ello es particularmente el caso de los enunciados acerca de conjunciones y sucesiones regulares cuyos mecanismos ignora aquel conocimiento ordinario. Pero la situación cambia completamente cuando se descubre el mecanismo de la producción de tales apariencias, esto es, cuando se establecen leyes y teorías representacionales (no-fenomenológicas). Aún más: no existen *leyes* fenomenológicas propiamente dichas; en el terreno de lo fenomenológico no hay más series temporales, más o menos al azar, de experiencia sin potencia predictiva. Por esa razón tiene el científico que formular hipótesis acerca de cosas y propiedades diafenoménicas cuando quiere descubrir leyes en sentido propio. Hume tenía razón al negar a las secuencias fenoménicas, incluso a las pocas que son regulares, estabilidad y, por tanto, potencia predictiva y fiabilidad, pero se equivocó al creer que ésas son las únicas regularidades que podemos conocer. Si la sucesión regular del día y la noche fuera una mera idiosincrasia del hombre, no tendríamos razón alguna para esperar que siga produciéndose; pero esto no tiene nada que ver con los enunciados o la predicción nomológicos, tal como los practica el científico.

Precisamente esa nueva manera crítica de considerar las regularidades fenoménicas utilizadas en los pronósticos del sentido común fue posible por la nueva ciencia mecanicista que empezó a florecer un siglo antes de que Hume escribiera, pero que él ignoró lisa y llanamente en su discusión de la previsión. (Y aún más asombroso que esa ignorancia es el hecho de que la doctrina de Hume, según la cual la predicción es una clase de inducción y se basa en generalizaciones empíricas, siga siendo la creencia más difundida al respecto al cabo de tres siglos de ciencia teorética.) Lo que queda del análisis de la previsión por Hume es la tesis de que la predicción es falible, aunque por razones muy distintas de las que él adujo: una predicción científica puede fallar porque la teoría que la posibilite no sea lo suficientemente verdadera, porque la información utilizada no sea lo suficientemente precisa, o porque haya fallado algo en la derivación misma de la predicción, por errores o por simplificaciones demasiado drásticas en la aplicación de la teoría. Lo mismo puede decirse, naturalmente, de la retrodicción. Debemos desconfiar de *cada particular* predicción y confiar al mismo tiempo en la capacidad que tiene la ciencia de realizar frecuentemente proyecciones con éxito y, particularmente, de mejorar sus rendimientos de cada momento. Debemos ser falibilistas, pero no escépticos, porque conocemos el mecanismo mediante el cual pueden mejorarse las proyecciones, a saber, la cons-

trucción de teorías cada vez más fuertes y más profundas, la producción de información cada vez más precisa y la realización de derivaciones cada vez más exactas. El progreso por esa vía no eliminará del todo la incertidumbre: seguiremos haciendo proyecciones incompletas y erradas. Pero aprenderemos de esos errores, o sea, corregiremos gradualmente las premisas de nuestras proyecciones equivocadas. El principio de legalidad (cf. sec. 6.8) nos sostiene en esta esperanza de progreso, pues la proyección científica presupone un universo según leyes y un proyector que las obedezca. La proyección sería efectivamente imposible en un universo caótico, en un mundo hecho por Hume o por James, en el que no hubiera construcciones ni conexiones objetivas y en el cual pudiera ocurrir cualquier cosa en cualquier circunstancia.

Sexta paradoja: ¿cómo podemos predecir una novedad radical sin privar al mismo tiempo al hecho de su novedad? Por ejemplo, si predecimos que si se realizan tales y cuales operaciones aparecerá un compuesto químico nunca visto con tales o cuales propiedades, ¿qué novedad se tendrá cuando efectivamente se produzca la sustancia? La paradoja se produce por la suposición tácita de que existe una sola clase de novedad, cuando en realidad hay tres clases de novedad implicadas en la situación: conceptual, empírica y ontológica. La producción efectiva del nuevo compuesto no es conceptualmente nueva, puesto que ha sido predicha; pero es empíricamente nueva, puesto que nunca se había tenido experiencia de ella; y es también ontológicamente nueva, puesto que no había existido nunca antes —o, al menos, así lo creemos.

Nuestra séptima paradoja está íntimamente relacionada con la anterior. Supongamos que la ciencia fuera a alcanzar en algún momento un estado de perfección en el cual no hiciera más que proyecciones precisas y exactas: ¿supondría ello la extirpación de novedad radical en el futuro? Si admitimos que la predecibilidad perfecta hace imposible la novedad radical, caemos en la paradoja anterior. Si admitimos que la predecibilidad completa es compatible con la novedad ontológica, parece que quedemos obligados a reconocer que la novedad futura es necesaria, predeterminada o preordenada. Dicho brevemente: la predecibilidad parece implicar la eliminación del azar y de la libertad, y, por tanto, el progreso científico sería terrible. La raíz de este rompecabezas es, naturalmente, la conjetura según la cual es posible la predicción perfecta, de tal modo que pudiéramos prever con exactitud todo acontecimiento y todo error posible, con lo que estarían dados los medios para evitarlo. Pero el hecho es que para alcanzar ese estado de bienaventuranza necesitaríamos disponer de toda teoría concebible y de infinitos elementos de información, cosa técnicamente imposible. Mas, aun poseyendo todo eso, seríamos incapaces de matar el azar y la libertad, porque si las premisas necesarias para la predicción exacta fueran de verdad perfectas, tendrían que recoger los rasgos casuales objetivos de la realidad y de los actos de la libre volición humana. Lo cual implica que las premisas perfectas reservarán un lugar para los hechos impredecibles. O sea: un conocimiento perfecto tiene que tener en cuenta hechos impredecibles (recuérdese el problema 10.3.6); pero, en cualquier caso, puede predecirse que no se conseguirá nunca un conocimiento perfecto. El futuro quedará siempre abierto por las dos razones: no sólo porque siempre se escaparán a la ciencia algunos grumos de realidad, sino también porque cada vez somos más dueños de la realidad, y eso exige que relajemos algunos vínculos y dejemos entornada la puerta del futuro. Y eso resuelve la paradoja.

Octavo rompecabezas: lo que la ciencia retrodice no existe ya, lo que predice no existe aún, y lo que describe se convierte en pasado. ¿Cómo podemos entonces decir que la proyección científica se refiera a la realidad y que la ciencia trate de la realidad? ¿No trata principalmente con hechos irreales? La fuente de esta paradoja es clara: al formular la pregunta construimos la palabra 'realidad' según su sentido más estricto, el de actualidad, o sea: la suma total de lo que existe ahora (respecto de cierto marco de referencia). Pero eso no es lo que corrientemente entiende por 'realidad' el científico. Por ejemplo, cuando el físico dibuja un diagrama espacio-temporal que muestra la historia de una partícula en movimiento en un determinado campo de fuerza, supone que real es toda la historia del sistema dado, y no sólo su presente instantáneo. La paradoja se disuelve, pues, con una simple redefinición del concepto "realidad" como la suma total de existentes en algún momento; o, lo que es lo mismo, redefiniendo el concepto "actualidad" como el subconjunto de las entidades que son reales ahora (en un determinado marco de referencia).

Novena paradoja: ¿cómo es posible derivar proposiciones acerca de hechos pasados o futuros a partir de fórmulas que pueden no contener la variable temporal? Por ejemplo: las leyes de la psicología que relacionan la intensidad de los estímulos con las respuestas de ciertas clases suelen ser leyes estáticas, en el sentido de que no se refieren a procesos; pero dado un determinado estímulo en un determinado momento, esas leyes nos permiten predecir el valor de la reacción subsiguiente. La paradoja resuelve si se recuerda que las leyes estáticas contienen tácitamente cuantificaciones universales de la variable temporal, al menos sobre intervalos temporales sin especificar. Y así, cuando afirmamos que el estímulo E desencadena una relación R invariablemente relacionada con E por una determinada función F –o sea, cuando escribimos la fórmula "$R = F(E)$", que presenta la correspondencia entre E y R–, estamos afirmando implícitamente que esa relación funcional no cambia con el tiempo. (Más detalladamente: "Para todo t y para todo x, si t es un instante de tiempo y x es un organismo, entonces $R(x, t) = F[\mathrm{E}(x, t)]$". Una formulación más exacta haría depender el valor de la respuesta t del valor del estímulo en un momento anterior, o acaso de los valores del estímulo durante un entero intervalo temporal.) Se encontrará un valor específico de la variable temporal en un enunciado proyectivo si éste constituye una respuesta adecuada a la pregunta '¿*Cuándo* ocurrió (u ocurrirá) x?' Pero si la pregunta es '¿*Qué* ocurrió (u ocurrirá)?', la respuesta no tiene por qué contener un valor temporal. En cambio, el tiempo se presentará siempre en los procesos mentales de derivación de un enunciado proyectivo: esta operación requiere tiempo y, por tanto, si las premisas se formulan en un determinado momento, la proyección se formulará en un momento posterior. Y ese momento puede ser incluso posterior al hecho proyectado mismo, ya porque se trate de una retrodicción, ya porque el hecho ocurra mientras la proyección se derivaba o calculaba (como frecuentemente ocurre en la derivación de previsiones balísticas y meteorológicas).

He aquí nuestra décima y última paradoja: ¿Por qué es la proyección diferente de la explicación si ambas tienen la misma estructura lógica, esto es, si ambas son deducciones a partir de generalizaciones y de datos? Empecemos por enumerar rápidamente algunas de las diferencias entre los dos tipos de inferencia. (*i*) Lo dado en el caso de la explicación es la conclusión de una argumentación que hay que reconstruir, mientras que en el caso de la predicción lo dado son las premisas, y lo que se busca es la conclusión (cf. sec.

9.1). (*ii*) Cualquier sistema de conjeturas, científico o no, puede suministrar explicaciones, mientras que sólo las teorías científicas cargan con el riesgo de formular proyecciones; así, por ejemplo, la física de Aristóteles y el psicoanálisis no intentan siquiera hacer predicciones. Sólo las explicaciones científicas pueden controlarse por medio de proyecciones. (*iii*) La relación de explicación, "*q* porque *p*", puede establecerse entre fórmulas de cualesquiera niveles de una teoría, e incluso entre fórmulas pertenecientes a diferentes teorías, mientras que las fórmulas predictivas tienen que ser del nivel más bajo; así, por ejemplo, no hacemos predicciones nomológicas de leyes, aunque a veces anticipemos o pronostiquemos en esbozo su descubrimiento. (*iv*) Hay explicaciones de varias profundidades, según la profundidad de las teorías utilizadas; en cambio, no parece que tenga sentido el término 'profundidad predictiva'. (*v*) Algunas teorías pueden dar explicaciones precisas de hechos singulares, como la emisión de luz por un átomo, o el contagio de un organismo por un virus, pero no dan proyecciones exactas de esos mismos hechos singulares: sus proyecciones se refieren a agregados de hechos individuales, o bien afirman que la probabilidad de un hecho singular es tal o cual: son proyecciones estocásticas (cf. sec. 10.2). Hemos enumerado cinco diferencias entre la explicación y la proyección; puede haber más. La explicación de la falta de identidad de dos operaciones lógicamente idénticas (puesto que ambas son deductivas) es simplemente que la lógica no distingue las diferencias extralógicas (por ejemplo, epistemológicas). Por tanto, lo único asombroso que tiene nuestra última paradoja es el que la mayoría de los filósofos sean incapaces de apreciar las diferencias entre proyección y explicación.

Lo que precede puede leerse como una diversión filosófica. Pero nuestros rompecabezas han sometido ciertas teorías filosóficas, como la teoría de la verdad y la de la determinación, a unas pruebas bastante cansadas. Y han mostrado que el concepto de proyectabilidad no puede tomarse como un concepto primitivo con el cual definir los conceptos de verdad, ley, causalidad y azar, como hacen las filosofías que consideran la predecibilidad como el principal desideratum de las teorías científicas y rechazan los conceptos de novedad objetiva, ley objetiva, rasgos objetivos causales y rasgos objetivos casuales. El metacientífico estima el rendimiento proyectivo sobre todo por su indicación de contrastabilidad, la cual es una puerta grande hacia la verdad factual. Sólo el científico dedicado a la aplicación y el hombre de acción pueden tener derecho a considerar la predicción como el único o principal objetivo de la ciencia, porque ella es la base de la acción racional. Pues la predicción echa un puente para salvar el hiato entre la ciencia y la acción. Por ese puente vamos a pasar ahora.

Problemas

10.5.1. Examinar la doctrina de Hume sobre la predicción, tal como está expuesta en su principal obra filosófica, *A Treatise of Human Nature* (1739-40), Book I, parte III, sec. XII. *Problema en lugar de ése*: Las promesas y las amenazas, tanto incondicionales (por ejemplo, "Haré *x*") cuanto condicionales (por ejemplo, "Si *x* hace *y*, yo haré *z*"), son lingüísticamente idénticas, aunque son psicológicamente diferentes. Comparar las promesas y las amenazas con las previsiones, incondicionales y condicionales, y averiguar si difieren o no lingüísticamente. En cualquier caso, inferir alguna

conclusión sobre la adecuación del análisis lingüístico para el estudio de la predicción científica.

10.5.2. El empirismo ha sostenido tradicionalmente que la predicción es una inferencia inductiva, e incluso la clase más típica o más fundamental de inducción. Esto se refiere no sólo a autores clásicos, como Hume y Mill, sino también a autores contemporáneos, como H. Reichenbach, *Experience and Prediction*, 1938, Chicago, University of Chicago Press, 1961, sec. 38; H. Jeffreys, *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1957, pp. 1 y 13; G. H. von Wright, *The Logical Problem of Induction*, 2a. ed., Oxford, Blackwell, 1957, p. 1; R. Carnap, *Logical Foundations of Probability*, Chicago, University of Chicago Press, 1950, p. 207; N. Goodman, *Fact, Fiction and Forecast*, Londres, Athlone Press, 1954, cap. III; A. Pap, *An Introduction to the Philosophy of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, pág. 144; J. J. Katz, *The Problem of Induction and its Solution*, Chicago, University of Chicago Press, 1982, pág. 5. Examinar esa opinión, particularmente la afirmación de que la inferencia predictiva no puede ser deductiva porque trasciende los hechos observados, ya que es una inferencia acerca de hechos desconocidos y partiendo de una muestra de hechos pasados, o sea, una extrapolación inductiva de uniformidades pasadas. Indicación: (*i*) ver si la doctrina se aplica a la predicción de hechos nuevos (como la predicción de la partícula omega-menos, descubierta en 1964); (*ii*) averiguar si se aplica al pronóstico del conocimiento ordinario.

10.5.3. En la página 575 de su influyente libro *Logical Foundations of Probability* (cf. problema 10.5.2), Rudolf Carnap sostiene que "el uso de leyes no es indispensable para hacer predicciones. Sin embargo, de ello es, desde luego, conveniente formular leyes universales en los libros de física, biología, psicología, etc.". Si puede prescindirse de las leyes y si, como mantiene el positivismo tradicional, la predicción es lo principal de la ciencia, ¿por qué invierten tanto tiempo los científicos en inventar y contrastar los enunciados de leyes? ¿Simplemente porque son convenientes? Y si, por el contrario, las leyes son esenciales a la predicción científica, ¿por qué empequeñecerlas? Tener en cuenta que el grado de confirmación se cuantifica como la razón de los casos favorables a los casos posibles.

10.5.4. Considerar la siguiente solución al problema del valor veritativo de una proposición que se afirme ahora como verdadera y dentro de un rato resulte falsa. "La proposición era falsa desde el principio, pero no nos dimos cuenta de ello. Lo que ha cambiado no es el valor veritativo, sino sólo nuestra estimación del mismo; los valores veritativos son propiedades intrínsecas y atemporales de las proposiciones."

10.5.5. Examinar el problema que dio inicialmente origen al sistema de lógica de tres valores propuesto por J. Lukasiewicz, y averiguar si la ciencia usa o necesita una teoría lógica de esa naturaleza. Cf. W. y M. Kneale, *The Development of Logic*, Oxford, Clarendon Press, 1962, pp. 47ss. y 569. Sobre la tesis según la cual la mecánica cuántica requiere una lógica de tres valores, cf., por ejemplo, P. Destouches-Février, *La structure des théories physiques*, París, Presses Universitaires de France, 1951.

10.5.6. Según el pragmatismo clásico, las proyecciones son útiles o inútiles, verdaderas o falsas. Y una proyección útil (inútil) es la que tiene éxito (no lo tiene), o sea, una que da (no da) en el blanco. Pero ¿qué puede significar 'tener éxito' en ese contexto? ¿Y cómo explica el pragmatismo el éxito de algunas predicciones? *Problema en lugar de ése*: Estudiar la lógica de la esperanza. Indicaciones: (*i*) empezar por distinguir entre esperanzas piadosas y no piadosas, y explicitar sus respectivos fundamentos; (*ii*) estudiar la reacción entre la esperanza fundada y la predicción científica; (*iii*) averiguar qué justificación empírica pueden tener –si la tienen– las esperanzas.

10.5.7. Según el pragmatismo, el convencionalismo y el positivismo tradicional, la predicción es de toda importancia, mientras que la explicación es parasitaria. Precisar las motivaciones correctas y las erradas que tiene ese punto de vista. Entre las primeras motivaciones, el hecho de que las teorías especulativas ofrecen explicaciones, pero no predicciones; entre las últimas, la negati-

va a ir más allá de la experiencia. Piénsese en si podría haber proyecciones precisas sin teorías explicativas profundas; recuérdense las teorías de Ptolomeo sobre los movimientos planetarios. Y averiguar si el cultivador de las ciencias reales se interesa más por predecir que por explicar.

10.5.8. N. Wiener y A. N. Kolmogoroff iniciaron una teoría matemática *de la predicción* que suministra los medios para extrapolar el pasado conocido de alguna cantidad variable sobre sus valores futuros. (En la práctica, los "datos" considerados por la teoría constituyen una secuencia *infinita* de valores numéricos supuestamente tomados de observaciones hechas a intervalos iguales en el pasado. Los datos observacionales efectivos tienen que considerarse como una muestra representativa de esa infinita población imaginaria.) Si se perfeccionara ese procedimiento, ¿podría permitirnos el prescindir de teorías científicas sustantivas en lo que se refiere a la predicción? ¿O más bien suministra esa teoría una técnica para analizar series temporales en componentes mensaje y componentes ruido (cf. fig. 10.6 de la sec. 10.2), sugiriendo así leyes que luego pudieran teorizarse? Cf. N. Wiener, "The Theory of Prediction", en E. F. Beckenbach (ed.), *Modern Mathematics for the Engineer*, 1a. serie, Nueva York, McGraw-Hill, 1956, y H. Furstenberg, *Stationary Process and Prediction Theory*, Princeton, Princeton University Press, 1960.

10.5.9. En algunos capítulos de la ciencia, como la sistemática botánica, no se hacen proyecciones. Examinar las siguientes "conclusiones" posibles: (*i*) Esas disciplinas no proyectivas son no-científicas. (*ii*) La proyección no es esencial a la ciencia: algunas ciencias son no-proyectivas. (*iii*) Los capítulos no-proyectivos de una ciencia son parte de sistemas más amplios que tienen potencia proyectiva, y su función es principalmente auxiliar respecto de esos sistemas más amplios. La división de la ciencia en capítulos proyectivos y no-proyectivos no puede justificarse más que por razones pragmáticas. Cf. Problema 10.1.10.

10.5.10. Suele suponerse que la proyección es posible a causa de la uniformidad de la naturaleza. ¿Qué puede entenderse por 'uniformidad de la naturaleza'? Y suponiendo esa base ontológica de la proyección, ¿qué explicaría entonces cada fracaso en el proyectar?

BIBLIOGRAFÍA

Bunge, M., *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, cap. 12.

Grünbaum, A., *Philosophical Problems of Space and Time*, Nueva York, Knopf, 1963, cap. 9.

Hanson, N. R., "On the Symmetry Between Explanation and Prediction", *Philosophical Review*, *68*, 349, 1959.

——, "Mere Predictability", en H. E. Kyburg, Jr., y E. Nagel (eds.), *Induction: Some Current Issues*, Middleton, Conn., Wesleyan University Press, 1963.

Jevons, W. S., *The Principles of Science*, 1874, Nueva York, Dover, 1958, cap. XXIV.

Körner, S. (ed.), *Observation and Interpretation*, Londres, Butterworths Sc. Publications, 1957, especialmente el artículo de W. B. Gallie, "The Limits of Prediction", y el de G. Ryle, "Predicting and Inferring".

Meehl, P. E., *Clinical vs. Statistical Prediction*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1954.

Popper, K. R., *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge & Kegan Paul, 1960, especialmente la sec. 28.

——, *Conjectures and Refutations*, Nueva York, Basic Books, 1963, cap. 16, sobre "Prediction and Prophecy in the Social Sciences".

Rashevsky, N., *Looking at History Through Mathematics*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1968.

Reichenbach, H., *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley y Los Ángeles, University of California Press, 1951, cap. 14.

——, *Experience and Prediction*, 1938; Chicago University Press, 1961, sec. 38.
Rescher, N., "On Prediction and Explanation", *British Journal for the Philosophy of Science*, VIII, 281, 1958.
Scheffler, I., "Explanation, Prediction and Abstraction", *British Journal for the Philosophy of Science*, VII, 293, 1957.
Scriven, M., "Explanation and Prediction in Evolutionary Theory", *Science*, CXXX, 477, 1959.
——, "Explanations, Predictions and Laws", en H. Feigl y G. Maxwell (eds.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1962, vol. 3.
Wold, H. (ed.), *Forecasting on a Scientific Basis*, Lisboa, Centro de Economia e Finanças, Instituto Gulbenkian de Ciência, 1967.

11. ACCIÓN

En toda ciencia, sea pura o aplicada, la teoría es a la vez la culminación de un ciclo de investigación y una guía para investigación ulterior. En las técnicas las teorías son, además de eso, la base de sistemas de reglas que prescriben el curso de la acción práctica óptima. Por otro lado, en las artes y oficios o bien no hay teorías o bien éstas son meros instrumentos de acción. Pero eso no se refiere a teorías enteras, sino sólo a su parte periférica; puesto que sólo las consecuencias de nivel bajo de las teorías pueden estar en contacto con la acción, son esos resultados finales de las teorías los que atraen la atención del hombre práctico. En épocas pasadas se consideraba que un hombre era práctico de algún arte cuando al obrar prestaba poca o ninguna atención a la teoría, o bien se basaba en teorías espontáneas del sentido común. Hoy día, un práctico es más bien una persona que obra según decisiones tomadas a la luz del mejor conocimiento tecnológico: no científico, porque la mayor parte del conocimiento científico está demasiado lejos de la práctica o incluso es irrelevante para ella. Y ese conocimiento tecnológico, hecho de teorías, reglas fundamentadas y datos, es a su vez un resultado de la aplicación del método de la ciencia a problemas prácticos (cf. sec. 1.5).

La aplicación de la teoría a fines prácticos plantea problemas filosóficos considerables y descuidados en gran medida. Tres de esos problemas –el de la capacidad confirmadora de la acción, el de la relación entre la regla y la ley y el de los efectos de la previsión tecnológica en el comportamiento humano– se estudiarán en este capítulo. Son meras muestras de un sistema de problemas que un día u otro deberían dar origen a una filosofía de la tecnología.

11.1. VERDAD Y ACCIÓN

Un acto puede considerarse *racional* si (*i*) es máximamente adecuado a un objetivo previamente puesto y (*ii*) el objetivo y los medios para conseguirlo se han escogido o realizado mediante el uso consciente del mejor conocimiento relevante disponible. (Esto presupone que ningún acto racional es en sí mismo un objetivo, sino que es siempre instrumental.) El conocimiento subyacente a la acción racional puede encontrarse en cualquier tramo del amplio espectro encerrado por los límites del conocimiento común y el conocimiento científico, pero en cualquier caso tiene que ser conocimiento propiamente dicho, no hábito ni superstición. Nos interesa aquí una clase especial de acción racional: la guiada, al menos en parte, por la teoría científica o tecnológica. Los actos de esta clase pueden considerarse *máximamente racionales*, porque se basan en hipótesis fundamentadas o contrastadas y en datos precisos, no en el mero conocimiento práctico o en la tradición acrítica. Una tal fundamentación no garantiza que la acción tendrá un éxito com-

pleto, pero suministra los medios para el perfeccionamiento gradual del acto. Es, en efecto, el único medio conocido para acercarse a los objetivos dados y mejorarlos incluso, igual que los medios para alcanzarlos.

Una teoría puede tener relevancia para la acción ya porque suministre conocimiento sobre los objetos de la acción, máquinas, por ejemplo, ya porque se refiera a la acción misma, por ejemplo, a las decisiones que preceden y guían la manufactura o el uso de máquinas. Una teoría del vuelo es del primer tipo, mientras que una teoría de las decisiones óptimas sobre la distribución del tránsito aéreo por una región es de la última clase. Las dos del ejemplo son *teorías tecnológicas*; pero, mientras que las de la primera clase son *sustantivas*, las de la segunda son *operativas* en cierto sentido. Las teorías tecnológicas sustantivas son esencialmente aplicaciones de teorías científicas a situaciones aproximadamente reales; así por ejemplo, una teoría del vuelo es esencialmente una aplicación de la dinámica de los fluidos. Las teorías tecnológicas operativas, en cambio, se refieren desde el primer momento a las operaciones de complejos hombre-máquina en situaciones aproximadamente reales; así por ejemplo, una teoría de la gestión de líneas aéreas no estudia los aviones, sino ciertas operaciones del personal. Las teorías tecnológicas sustantivas tienen siempre inmediatamente a sus espaldas teorías científicas, mientras que las teorías operativas nacen en la investigación aplicada y pueden tener poco –o nada– que ver con teorías sustantivas. Por esta razón matemáticos y lógicos con escaso conocimiento previo de teorías científicas del mismo campo pueden dar importantes contribuciones a dichas teorías operativas. Unos pocos ejemplos aclararán más la distinción sustantiva-operativa.

La teoría relativista de la gravitación puede aplicarse al trazado de generadores de campos antigravitatorios (campos que contrarrestan el campo gravitatorio terrestre), y esos campos pueden utilizarse a su vez para facilitar el lanzamiento de naves espaciales. Pero, como es natural, la teoría de la relatividad no se refiere particularmente ni a los generadores de campos ni a la astronáutica: se limita a suministrar parte del conocimiento relevante para planear y manufacturar generadores antigravitatorios. El geólogo aplicado que trabaja en prospecciones petrolíferas utiliza la paleontología, y los resultados a que llega en sus dictámenes son una base para la elaboración de decisiones para los equipos de sondeo; pero ni la paleontología ni la geología se ocupan directamente de la industria del petróleo. El psicólogo industrial puede utilizar la psicología en interés de la producción; pero la psicología no se ocupa directamente de la producción. Esos tres ejemplos lo son de aplicación de teorías científicas (o semicientíficas, según los casos) a problemas que surgen en la acción.

Por el otro lado las teorías del valor, de la decisión, la teoría de los juegos y la investigación operacional tratan directamente la estimación, la elaboración de decisiones, la planificación y la acción; pueden incluso aplicarse a la investigación científica considerada como una clase de acción, con la optimista esperanza de optimizar su producto. (Esas teorías no pueden decir cómo podría sustituirse el talento por otra cosa, pero sí cuál es el mejor modo de explotarlo.) Esas teorías son operativas, y hacen escaso uso –si es que hacen alguno– del conocimiento sustantivo suministrado por las ciencias físicas, biológicas o sociales: suelen bastarles el conocimiento ordinario, un conocimiento especializado, pero no científico (por ejemplo, de prácticas de inventario), y la ciencia formal. Basta

pensar en la cinemática estratégica aplicada al combate, o en los modelos de colas: no son aplicaciones de ninguna teoría científica pura, sino que son ellas mismas teorías independientes. Lo que utilizan esas teorías operativas o no-sustantivas no es el conocimiento científico sustantivo, sino el *método* de la ciencia. Tales teorías pueden, en efecto, considerarse científicas y dirigidas al tema de la acción: son, dicho brevemente, teorías de la acción. Son teorías tecnológicas respecto del objetivo, que es más práctico que cognoscitivo; pero, aparte de eso, no difieren grandemente de las teorías de la ciencia. De hecho, toda buena teoría operativa tendrá al menos los siguientes rasgos característicos de las teorías científicas: (*i*) no referirse directamente a piezas de realidad, sino a modelos más o menos idealizados de la misma (por ejemplo, contrincantes plenamente racionales y perfectamente informados, o demandas y suministros continuos); (*ii*) como consecuencia de lo anterior: utilizar conceptos teoréticos (por ejemplo, "probabilidad"); (*iii*) poder absorber información empírica y enriquecer a su vez la experiencia suministrando predicciones o retrodicciones; (*iv*) ser, por tanto, empíricamente contrastable, aunque no tan rigurosamente como las teorías científicas (cf. fig. 11.1).

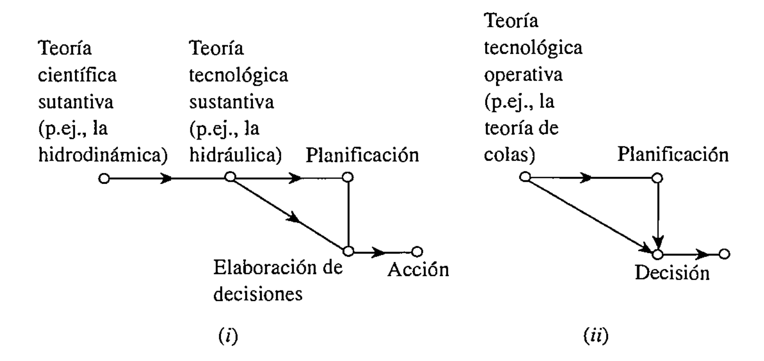


FIGURA 11.1. (*i*) La teoría tecnológica sustantiva se basa en la teoría científica y suministra al que toma las decisiones los instrumentos necesarios para planear y hacer. (*ii*) La teoría operativa se ocupa directamente de los actos del elaborador de decisiones o del actor.

Consideradas desde el punto de vista práctico, las teorías tecnológicas son más ricas que las teorías científicas en el sentido de que, lejos de limitarse a dar cuenta de lo que puede ocurrir, ocurre, ocurrió u ocurrirá, sin tener en cuenta lo que hace el que toma las decisiones, ellas se ocupan de averiguar *lo que hay que hacer* para conseguir, evitar o simplemente cambiar el ritmo de los acontecimientos o su desarrollo de un modo predeterminado. En cambio, desde un punto de vista conceptual las teorías tecnológicas son claramente más pobres que las de la ciencia pura: son siempre *menos profundas*, porque el hombre práctico, al que se dedican, se interesa principalmente por los efectos brutos que ocurren y que son controlables a escala humana: lo que quiere saber ese hombre es cómo puede conseguir que trabajen *para él* las cosas que se encuentran a su alcance, y no cómo son realmente las cosas de cualquier clase. Así, por ejemplo, el especialista en

electrónica no necesita preocuparse de las dificultades de las teorías cuánticas del electrón; y el investigador dedicado a la teoría de la utilidad, que compara las preferencias de los individuos, no tiene por qué profundizar en los orígenes de los esquemas de esas preferencias, lo cual es en cambio un problema de interés para el psicólogo. Consiguientemente, el investigador aplicado procurará esquematizar su sistema, siempre que ello sea posible, como *caja negra*: preferirá tratar variables externas (*input* y *output*), considerará todas las demás, en el mejor de los casos, como variables intermedias útiles y manejables, pero sin alcance ontológico, e ignorará todos los demás niveles. Precisamente por eso –o sea, porque sus hipótesis son superficiales–, no resultan más a menudo peligrosas las supersimplificaciones y los errores con que trabaja. (Lo que sí es peligroso es la trasposición de este planteamiento externalista a la ciencia misma: cf. sec. 8.5.) Pero de vez en cuando el tecnólogo se verá obligado a adoptar un punto de vista más profundo, representacional. Así, por ejemplo, el ingeniero molecular que planea nuevos materiales, por ejemplo, sustancias de macropropiedades determinadas de antemano, tendrá que utilizar determinados fragmentos de la teoría atómica y molecular. Pero pasará por alto todas las micropropiedades que no se manifiesten de modo apreciable al nivel macroscópico: en el fondo utiliza las teorías atómica y molecular como meros instrumentos. Y eso es lo que ha inducido a bastantes filósofos a creer erróneamente que las teorías científicas son *exclusivamente* instrumentos.

El empobrecimiento conceptual que sufre la teoría científica cuando se usa como un medio para fines prácticos puede ser tremendo. Por ejemplo: un físico aplicado que trabaje en el diseño de un instrumento óptico usará casi exclusivamente lo que se sabía de la luz a mediados del siglo XVII. No tomará en cuenta la teoría ondulatoria de la luz más que para explicar a grandes rasgos, y sin detalle, algunos efectos, por lo común indeseables, como la apariencia de los colores cerca de los bordes de la lente; pero rara vez –si es que lo hace alguna– aplicará alguna de las teorías ondulatorias de la luz (cf. sec. 9.6) al cálculo de tales efectos. En la mayor parte de su práctica profesional puede hacer como si ignorara esas teorías, por dos razones. Primero, porque los rasgos capitales de los hechos ópticos relevantes para la fabricación de la mayoría de los instrumentos ópticos quedan adecuadamente recogidos por la óptica del rayo luminoso; los hechos que no pueden explicarse así requieren simplemente la hipótesis (no la entera teoría) de que la luz consta de ondas y de que esas ondas pueden superponerse. Segundo, porque es sumamente difícil resolver las ecuaciones de las más profundas teorías ondulatorias, salvo en casos elementales que son por lo general de interés meramente académico (o sea, que sirven esencialmente para fines de ilustración o contrastación de la teoría). Basta pensar en la tarea de resolver la ecuación de onda con condiciones límites dependientes del tiempo, como las que representan el obturador móvil de una cámara cinematográfica. La óptica ondulatoria es científicamente importante porque es aproximadamente verdadera; pero para la mayor parte de la actual tecnología del ramo, es menos importante que la óptica del rayo luminoso, y su aplicación detallada a problemas prácticos en la industria óptica sería puro quijotismo. Lo mismo puede argüirse respecto del resto de la ciencia pura en relación con la tecnología. Y la moraleja de todo esto es que si la investigación científica se hubiera sometido dócilmente a las necesidades inmediatas de la producción, no tendríamos ciencia.

En el dominio de la acción, las teorías profundas o complicadas son ineficaces porque requieren demasiado trabajo para conseguir resultados que igual pueden obtenerse con medios más pobres, esto es, con teorías menos verdaderas, pero más simples. La verdad profunda y precisa, que es un desideratum de la investigación científica pura, no es económica. Lo que se supone que el científico aplicado maneja son teorías de gran *eficiencia*, o sea, con una razón *input/output* elevada: se trata de teorías que dan mucho con poco. El bajo coste compensará entonces la calidad baja. Y como el gasto exigido por las teorías más verdaderas y complejas es mayor que el *input* exigido por las teorías menos verdaderas –que son generalmente más sencillas–, la eficiencia tecnológica de una teoría será proporcional a su *output* y a la sencillez de su manejo. (Si tuviéramos razonables criterios de medición de uno u otro concepto podríamos postular la ecuación *Eficiencia de T = Output de T.* × *Simplicidad operativa de T.*)

Si el *output* o producto técnicamente utilizable de dos teorías rivales es el mismo, entonces la simplicidad relativa de su aplicación (o sea, su simplicidad pragmática) será decisiva para la elección de una u otra por el tecnólogo; la adopción del mismo criterio por parte del científico puro significaría la rápida muerte de la investigación básica o de fundamentos. Y esto debe bastar para refutar la sentencia de Bacon –divisa del pragmatismo– según la cual lo más útil es lo más verdadero, así como para mantener la independencia de los criterios veritativos respecto del éxito práctico.

Si una teoría es verdadera puede utilizarse con éxito en la investigación aplicada (investigación tecnológica) y en la práctica misma, en la medida en que la teoría sea relevante para una y otra. (Las teorías fundamentales no son aplicables de ese modo, porque tratan de problemas demasiado alejados de los prácticos. Piénsese en lo que sería una aplicación de la teoría cuántica de la dispersión a los choques entre automóviles.) Pero la afirmación recíproca no es verdadera: el éxito o el fracaso prácticos de una teoría no son un índice objetivo de su valor veritativo. En realidad, una teoría puede tener éxito y ser falsa, y, a la inversa, puede ser un fracaso práctico y ser aproximadamente verdadera. La eficiencia de una teoría falsa puede deberse a alguna de las razones siguientes. En primer lugar, una teoría puede contener un gramo de verdad que sea lo único utilizado en las aplicaciones de la teoría. En realidad, una teoría es un sistema de hipótesis, y basta con que sean verdaderas o aproximadamente verdaderas unas pocas de ellas para acarrear consecuencias adecuadas, siempre que los ingredientes falsos no se usen en la deducción o sean prácticamente inocuos (cf. fig. 11.2).

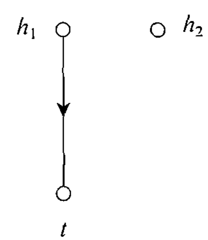


FIGURA 11.2. Un teorema verdadero, t, que dé base a una eficaz regla técnica, puede a veces derivarse de una hipótesis verosímil, h_1 sin usar la hipótesis falsa (o incontrastable), h_2, que se presenta en la misma teoría.

Así es, por ejemplo, posible fabricar un acero excelente combinando exorcismos mágicos con las operaciones prescritas por esa técnica, como se hizo hasta comienzos del siglo XIX; y también es posible mejorar la condición de los neuróticos por medio del chamanismo, el psicoanálisis y otras prácticas de esa naturaleza, mientras se combinen con ellas otros medios realmente eficaces, como la sugestión, el condicionamiento, los tranquilizantes y, sobre todo, el tiempo.

Otra razón del posible éxito práctico de una teoría falsa puede ser que los requisitos de precisión se encuentran en la ciencia aplicada y en la práctica muy por debajo de los que imperan en la investigación pura, de tal modo que una teoría grosera y simple que suministre estimaciones correctas de órdenes de magnitud, y de un modo fácil y rápido, bastará muy a menudo en la práctica. Los coeficientes de seguridad ocultarán en cualquier caso los detalles más finos predichos por una teoría precisa y profunda, y esos coeficientes son característicos de la teoría tecnológica porque ésta tiene que adaptarse a condiciones que pueden variar dentro de un amplio marco. Piénsese en la variación de las cargas que tiene que soportar un puente, o en los varios individuos que pueden consumir una medicina. El ingeniero y el médico tienen interés en contar con seguros y amplios intervalos centrados en torno de valores típicos, y no en contar con valores exactos. Una mayor precisión carecería de interés y hasta de sentido, pues ahí no se trata de obtener contrastaciones. Aún más: una gran precisión de ese tipo daría lugar a confusiones, porque complicaría las cosas hasta tal punto que el blanco a que tiene que apuntar la acción se perdería bajo la masa de los detalles. La precisión, que es un objeto de la investigación científica, no sólo es irrelevante o hasta un estorbo en la práctica, sino que incluso puede ser un obstáculo a la misma investigación pura en sus estadios iniciales. Por las dos razones antes dadas –uso de sólo una parte de las premisas y escasa exigencia de precisión– infinitas teorías diversas y rivales pueden dar "prácticamente los mismos resultados". El tecnólogo, y particularmente el técnico, está justificado al preferir la teoría más sencilla: en última instancia, lo que le interesa primordialmente es la eficiencia, no la verdad, conseguir cosas, no una comprensión más profunda de ellas. Por la misma razón pueden ser poco prácticas las teorías profundas y precisas: usarlas equivaldría a matar conejos con bombas nucleares. Sería tan absurdo –aunque no tan peligroso– como proponer la simplicidad y la eficiencia como criterios en la ciencia pura.

Una tercera razón por la cual la mayoría de las teorías científicas fundamentales no tienen interés práctico carece de relación con la manejabilidad y la robustez exigidas por la práctica, y tiene en cambio una raíz ontológica más profunda. Los actos prácticos del hombre tienen en su mayor parte lugar a su propio nivel, y ese nivel, como los demás, arraiga en los niveles inferiores, pero goza de cierta autonomía respecto de ellos, en el sentido de que no todo cambio que ocurra en los niveles inferiores tiene efectos apreciables en los superiores. Eso es lo que nos permite tratar la mayoría de las cosas a su propio nivel, apelando a lo sumo a los niveles inmediatamente adyacentes. Dicho brevemente, los niveles son en alguna medida estables: hay cierto margen de juego entre nivel y nivel, y ésta es una raíz del azar (casualidad debida a la independencia) y de la libertad (automoción en ciertos respectos). Por eso para muchos fines prácticos bastarán teorías de un solo nivel. Hay que escoger teorías de muchos niveles sólo cuando se exige un conocimiento de las relaciones entre los varios niveles para conseguir un tratamiento por

"control remoto". Los logros más interesantes en este respecto son los de la psicoquímica, cuyo objetivo es precisamente el control del comportamiento mediante la manipulación de variables que corresponden al nivel bioquímico subyacente a los fenómenos psíquicos.

Otra razón –la cuarta– de la irrelevancia de la práctica para la convalidación de teorías, incluso de teorías operativas que traten de la práctica misma, es que, en situaciones reales, las variables relevantes no suelen conocerse adecuadamente ni controlarse con precisión. Las situaciones reales son demasiado complejas para ello, y la acción real suele proceder con demasiada urgencia para permitir un estudio detallado, un estudio que empezara por aislar variables y combinar algunas de ellas en un modelo teorético. Como el desideratum en esos casos es la eficiencia máxima, y no la verdad, es corriente que se pongan en práctica simultáneamente varias medidas de ese orden práctico: el estratega aconsejará el uso simultáneo de armas de varias clases, el médico recetará varios tratamientos que supone concurrentes, y el político combinará promesas y amenazas. Si el resultado es satisfactorio ¿cómo podrá averiguar el práctico cuál de las reglas fue la eficiente y, por tanto, cuál de las hipótesis subyacentes era la verdadera? Si el resultado es insatisfactorio, ¿cómo podrá identificar las reglas ineficaces y las hipótesis subyacentes falsas? La distinción y el control cuidadosos de las variables relevantes y una estimación crítica de las hipótesis correspondientes a las relaciones entre esas variables no son cosas que puedan hacerse mientras se está matando, curando o persuadiendo a la gente, ni siquiera mientras se está produciendo cosas, sino sólo en el curso de la teorización y la experimentación científicas sensibles, tranquilas, planeadas y críticas. Sólo en el curso de la teorización o la experimentación *distinguimos* entre variables y *estimamos* su importancia relativa, las *controlamos* por manipulación o medición y *ponemos a prueba* nuestras hipótesis e inferencias. Por eso las teorías factuales, sean científicas o tecnológicas, sustantivas u operativas se contrastan empíricamente en el laboratorio, y no en el campo de batalla, en la sala de consultas o en la calle ('Laboratorio' se entiende aquí en un sentido amplio, para incluir cualquier situación que como las maniobras militares, permita un control razonable de las variables relevantes.) Ésa es también la razón por la cual la eficiencia de las reglas utilizadas en la fábrica, el hospital o la institución social no puede determinarse más que en circunstancias artificialmente controladas.

Dicho brevemente: la práctica no tiene ninguna fuerza convalidadora; sólo la investigación pura y aplicada puede estimar el valor veritativo de las teorías y la eficiencia de las reglas tecnológicas. A diferencia del científico, el técnico y el práctico no *contrastan* teorías, sino que las *usan* con finalidades no cognoscitivas. (El práctico no somete a contrastación ni siquiera las *cosas*, como herramientas o medicamentos, salvo en casos extremos: él se limita a usarlas, y es el científico aplicado el que en el laboratorio tiene que determinar sus propiedades y su eficiencia.) La doctrina de que la práctica es la piedra de toque de la teoría se basa en una incomprensión de la práctica y de la teoría, en una confusión entre la práctica y el experimento y en una confusión análoga entre la regla y la teoría. La pregunta "¿Funciona?", que es pertinente respecto de cosas y reglas, no lo es respecto de teorías.

Pero podría argüirse que un hombre que sabe hacer algo está mostrando con eso que conoce ese algo. Consideremos las tres versiones posibles de esa idea. La primera puede condensarse en el esquema "Si x sabe cómo actuar (o producir) y, entonces conoce y".

Para refutar esa tesis basta con recordar que durante un millón de años aproximadamente el hombre ha sabido cómo hacer niños sin tener la más remota idea del proceso de la reproducción. La segunda tesis es el condicional inverso, a saber "Si *x* conoce *y*, entonces *x* sabe cómo obrar (o producir) *y*". Contraejemplos: sabemos algo acerca de las estrellas, pero no podemos producir estrellas; conocemos parte del pasado, pero no podemos ni tocarlo. Como los dos condicionales son falsos, también lo es el bicondicional "*x* conoce *y* si y sólo si *x* sabe cómo obrar (o producir) *y*". En resolución, es falso que el conocimiento sea idéntico con el saber-hacer. La verdad es más bien ésta: el conocimiento *mejora* considerablemente las posibilidades del hacer correcto, y el hacer *puede* llevar a un mejor conocer (ahora que finalmente hemos aprendido que el conocer rinde), no porque la acción sea conocimiento, sino porque, en cabezas inquisitivas, la acción puede impulsar el planteamiento de problemas.

Sólo distinguiendo claramente entre conocimiento científico y conocimiento instrumental, o saber-cómo-hacer, podemos dar con una explicación de la coexistencia del conocimiento práctico con la ignorancia teorética, y de la coexistencia del conocimiento teorético con la ignorancia práctica. Si no fuera por eso seguramente no se habrían producido en la historia las siguientes combinaciones: (*i*) una ciencia sin su correspondiente tecnología (ejemplo: la física helenística); (*ii*) artes y oficios sin ciencia subyacente (ejemplos: la ingeniería romana y los actuales *tests* de inteligencia). Pero la distinción tiene que mantenerse también para explicar las fecundaciones cruzadas entre la ciencia, la tecnología y las artes y oficios, así como para explicar el carácter gradual del proceso cognoscitivo. Si, para agotar el conocimiento de una cosa, fuera suficiente producirla o reproducirla, entonces sin duda los logros técnicos serían el paso final de los respectivos capítulos de la investigación aplicada: la producción del caucho sintético, los materiales plásticos y las fibras sintéticas agotarían la química de los polímeros; la inducción experimental del cáncer en sujetos de laboratorio habría terminado con la investigación sobre esa enfermedad; y la producción experimental de neurosis y psicosis habría detenido definitivamente la psicología. El hecho es que seguimos haciendo muchas cosas sin entender cómo, y que conocemos muchos procesos (por ejemplo, la fusión del helio a partir del hidrógeno) que por ahora no somos capaces de controlar para fines útiles (en parte porque nos precipitamos a la tarea de alcanzar los fines antes de conseguir un ulterior desarrollo de los medios). Al mismo tiempo es verdad que las barreras entre conocimiento científico y conocimiento práctico, entre investigación pura e investigación aplicada, son límites que se están borrando. Pero eso no elimina sus diferencias, y el proceso no es sino el resultado de un planteamiento cada vez más científico de los problemas prácticos, o sea, de una difusión del método científico.

La identificación del conocimiento con la práctica no se debe sólo a un fallo en el análisis de ambos, o a la falta de análisis, sino también al legítimo deseo de evitar los dos extremos constituidos por la teoría especulativa y la acción ciega. Pero la contrastabilidad de las teorías y la posibilidad de mejorar la racionalidad de la acción no se defienden del mejor modo ignorando las diferencias entre el teorizar y el hacer, o afirmando que la acción es la contrastación de la teoría, porque esas tesis son falsas, y ningún programa defendible puede basarse en la falsedad. La interacción entre la teoría y la práctica y la integración de las artes y oficios con la tecnología y la ciencia no se consiguen proclamando

simplemente su unidad, sino multiplicando sus contactos e impulsando el proceso por el cual los oficios reciben una base tecnológica y la tecnología se convierte totalmente en ciencia aplicada. Esto supone la conversión de las recetas prácticas peculiares a los oficios en reglas fundadas, esto es, en reglas basadas en leyes. Consideremos ahora este problema.

Problemas

11.1.1. Informar acerca de algunas de las siguientes obras sobre la acción según planes: (*i*) G. Myrdal, *An American Dilemma*, 2a. ed., Nueva York, Harper and Row, 1962, especialmente los apéndices 1 y 2. (*ii*) H. Hart, "Social Theory and Social Change", en L. Gross (ed.), *Symposium on Sociological Theory*, Evanston, Ill., Row, Peterson, 1959, especialmente pp. 229ss; (*iii*) A. R. von Hippel, "Molecular Designing of Materials", *Science*, *138*, 91, 1962.

11.1.2. Comentar el poema en el cual el confuciano Hsün Tzu (del siglo III antes de nuestra era) elogia el dominio de la naturaleza y condena el conocimiento puro vanamente buscado por los taoístas. Cf. J. Needham, *Science and Civilization in China*, Cambridge, Cambridge University Press, 1956, II, página 28: "Glorificáis a la Naturaleza y meditáis sobre ella; / ¿Por qué no domesticarla y regularla? / Obedecéis a la Naturaleza y cantáis sus alabanzas; /¿Por qué no controlar su curso y usarla? / Contempláis las estaciones con reverencia y las esperáis; / ¿Por qué no responder a ellas mediante actividades estacionales? / Dependéis de las cosas y las admiráis; / ¿Por qué no despegar vuestras propias capacidades para transformarlas? / Meditáis sobre lo que hace que la cosa sea la cosa; / ¿Por qué no ordenar las cosas de modo que no las desperdiciéis? / Buscáis en vano las causas de las cosas; / ¿Por qué no os apropiáis y gozáis lo que ellas producen? / Por tanto os digo, Descuidar al hombre y especular de la Naturaleza / Es entender mal los hechos del universo". Comentario de Needham: Hsün Tzu "infirió un grave golpe a la ciencia al subrayar con exceso y demasiado frecuentemente su contexto social" (p. 26). Indicar actitudes parecidas en otros tiempos y lugares, y especular acerca del posible mecanismo de génesis de las filosofías pragmatistas.

11.1.3. A menudo se ha recomendado el pragmatismo como antídoto a la especulación desbocada, suponiendo que la práctica es la contrastación de la verdad de las teorías. Por otro lado, los prácticos de la medicina, los gerentes de empresas, los políticos y otros hombres de la práctica están constantemente inventando hipótesis que no tienen tiempo –ni ganas a veces– de fundamentar o someter a contrastación. Aclarar esa paradoja. *Problema en lugar, de ése*: Comentar el dicho paradójico atribuido al físico teórico L. Boltzmann: "Nada tan práctico como la teoría".

11.1.4. Analizar el dicho "El budín se prueba comiéndolo." ¿Vale para el conocimiento científico o sólo para las recetas de flanes? En general: ¿Qué es lo que *prueba* el éxito de una receta práctica? Tener en cuenta técnicas contemporáneas de mucho éxito, como el electrochoque para el tratamiento de la depresión, del que no se sabe por qué funciona. *Problema en lugar de ése*: Discutir la demostración por B. Russell de que la concepción pragmatista de la verdad sostenida por W. James acarrea un regreso infinito. Cf. *A History of Western Philosophy*, Nueva York, Simon and Schuster, 1945, cap. XXIX.

11.1.5. Mostrar las características del "pensamiento aproximado", el que se concentra en torno a las variables principales y opera con meros órdenes de magnitud, como frecuentemente ocurre al formular modelos teoréticos preliminares, igual en la ciencia pura que en la aplicada. Cf. P. E. Morse y G. E. Kimball, *Methods of Operation Research*, Nueva York, Technology Press of M. I. T. and Wiley; Londres, Chapman & Hall, 1951, p. 38. *Problema en lugar de ése*: Mencionar algunas leyes y teorías de la tecnología, y esbozar cómo se establecen.

11.1.6. Considerar la ingeniería social y del comportamiento como sociología y psicología aplicadas. Analizar el uso de esas disciplinas en la planificación y la reforma social. *Problema en lugar de ése*: Considerar la pedagogía como una rama de la ingeniería del comportamiento, y estudiar si las teorías de la educación se someten a contrastación, y cómo, en caso de respuesta afirmativa.

11.1.7. Analizar la relación entre la psiquiatría, como rama de la medicina, y la biología, la bioquímica y la psicología. Comentar la revolución que está teniendo lugar en la psiquiatría gracias a la investigación sobre psicofármacos. *Problema en lugar de ése*: Comparar algunas de las líneas de investigación sobre la fecundidad y la contraconcepción por lo que hace a la profundidad de los problemas que tratan y al cuerpo de biología que utilizan. Considerar especialmente el control de la ovulación y la inhibición de la producción de espermatozoos.

11.1.8. La agrimensura es una de las técnicas más antiguas y exactas. Examinar los medios (técnicas) y los fines (catastros) de la agrimensura y mostrar cuáles son sus bases teoréticas. *Problema en lugar de ése*: Los criterios de neurosis corrientemente usados (por ejemplo, el de Willoughby) se basan en la experiencia del estudio de casos. No tienen fundamento teorético, ni tampoco parece que se hayan aplicado a individuos normales para averiguar si son relevantes las discrepancias respecto de la normalidad. No hay siquiera criterio independiente de normalidad, como haría falta para la mera formación de grupos de control. ¿Qué miden más propiamente esos criterios? ¿La gravedad de una condición neurótica o la gravedad del actual estado de la psiquiatría?

11.1.9. Llevar a cabo un estudio lógico y epistemológico de alguna de las disciplinas siguientes: investigación operativa, teoría de juegos, teoría de la información. Investigar también si están relacionadas con teorías sustantivas, y, si lo están, de qué modo.

11.1.10. Estudiar el proyecto de cosas nuevas, como las fibras sintéticas. ¿Consisten siempre esos proyectos en combinar objetos existentes (es decir, en combinar piezas de materiales conocidos) de un modo nuevo? ¿Es posible para la ciencia y la tecnología crear nuevas sustancias y, por tanto, producir nuevas leyes naturales? Cf. sec. 6.8., *Problema en lugar de ése*: Estudiar la posibilidad de que la concepción instrumentalista de la ciencia haya nacido de la confusión entre ciencia pura y ciencia aplicada.

11.2. LA REGLA TECNOLÓGICA

Igual que la ciencia pura dirige su atención a esquemas objetivos o leyes, la investigación orientada a la acción aspira a establecer normas estables del comportamiento humano con éxito: esas normas estables son reglas. El estudio de las reglas –las reglas fundamentadas de la ciencia aplicada– es, pues, central en la filosofía de la tecnología.

Una regla *prescribe* un curso de acción: indica cómo debe uno proceder para conseguir un objetivo predeterminado. Más explícitamente: una regla es una instrucción para realizar un número finito de actos en un orden dado y con un objetivo también dado. El esqueleto de una regla puede simbolizarse por una cadena de signos, como 1-2-3-...-*n*, en la cual cada número representa un acto correspondiente; el último acto, *n*, es lo único que separa del objetivo al operador que haya ejecutado todas las operaciones menos *n*. A diferencia de las fórmulas legaliformes, que dicen cuál es la forma de hechos posibles, las reglas son normas. Se supone que el campo de la ley es la realidad entera, incluyendo a los que hacen o producen reglas; el campo de la regla es sólo la humanidad; son los

hombres, y no las estrellas los que pueden obedecer a reglas y violarlas, inventarlas y perfeccionarlas. Los enunciados de leyes son descriptivos e interpretativos, mientras que las reglas son normativas. Consiguientemente, mientras que los enunciados legaliformes pueden ser más o menos verdaderos, las reglas sólo pueden ser más o menos efectivas.

Podemos distinguir los siguientes géneros de reglas: (*i*) *reglas de conducta* (reglas sociales, morales y legales); (*ii*) *reglas de trabajo precientífico* (recetas de las artes y oficios y de la producción); (*iii*) *reglas semióticas* (sintácticas y semánticas); (*iv*) *reglas de la ciencia y la tecnología*: reglas fundamentadas de la investigación y la acción. Las reglas de conducta hacen posible (y dura) la vida social. Las reglas del trabajo precientífico dominan la región de conocimiento práctico no sometida aún a control tecnológico. Las reglas de signos nos orientan en el uso de símbolos, prescriben el modo de producir, transformar e interpretar símbolos. Y las reglas de la ciencia y la tecnología son las normas que resumen las especiales técnicas de la investigación en la ciencia pura y la aplicada (por ejemplo, el muestreo al azar), y las especiales técnicas de la producción moderna progresada (por ejemplo, las técnicas de fusión por infrarrojo).

Muchas reglas de conducta, de trabajo y de signos son *convencionales*, en el sentido de que se adoptan sin razones especiales y de que pueden cambiarse por otras reglas con poco o ningún cambio concomitante en el resultado deseado. No son plenamente arbitrarias, pues su formación y adopción deben explicarse a base de leyes psicológicas y sociológicas, pero no son tampoco necesarias; las diferencias entre culturas son en gran parte diferencias entre sistemas de reglas de esa clase. No nos interesan esas reglas sin fundamento, o reglas convencionales, sino las fundamentales, esto es, las normas que satisfacen la siguiente *Definición*: Una regla es *fundada* si y sólo si se basa en un conjunto de fórmulas de leyes capaces de dar razón de su efectividad. La regla que manda quitarse el sombrero para saludar es infundada en el sentido de que no se basa en ninguna ley científica, sino que se ha adoptado convencionalmente. En cambio, la regla que prescribe engrasar periódicamente los automóviles se basa en la ley de que los lubricantes disminuyen el desgaste por fricción de las partes: ésta no es una convención ni una receta práctica como las de la cocina o la política; es una regla bien fundada. Más adelante dilucidaremos el concepto de fundamento de una regla en una ley.

Para decidir que una regla es efectiva es necesario, aunque no suficiente, mostrar que ha tenido éxito en un alto porcentaje de casos. Pero esos casos pueden ser meras coincidencias, como las que pueden haber consagrado los rituales mágicos que acompañaban las cacerías del hombre primitivo. Antes de adoptar una regla empíricamente efectiva tenemos que saber *por qué* es efectiva: debemos separarla o aislarla y conseguir una comprensión de un *modus operandi.* Esta exigencia de fundamentación señala el paso de las artes y oficios precientíficos a la tecnología contemporánea. Ahora bien: la única fundamentación válida de una regla es un sistema de fórmulas legaliformes, porque sólo éstas pueden dar razón correcta de los hechos, en este caso del hecho de que la regla dada funcione. Con esto no se quiere decir que la efectividad de una regla dependa de que esté fundada o no lo esté, sino sólo que, para poder *juzgar* si una regla tiene alguna posibilidad de ser efectiva y para *mejorar* y acaso *sustituir* la regla por otra más efectiva, tenemos que descubrir los enunciados legaliformes subyacentes, si los hay. Pero podemos incluso dar un paso más y afirmar que la aplicación de reglas o recetas ciegas nunca ha

sido rentable a largo plazo: la mejor línea de conducta consiste, primero, en intentar fundamentar nuestras reglas y, segundo, en intentar transformar algunas fórmulas legaliformes en reglas tecnológicas efectivas. El nacimiento y el desarrollo de la tecnología moderna son el resultado de esos dos movimientos

Pero es más fácil predicar la fundamentación de las reglas que decir exactamente en qué consisten esos fundamentos. Intentemos una excursión por ese territorio inexplorado, que es el núcleo de la filosofía de la tecnología. Como suele ocurrir al acercarse a un tema nuevo, será conveniente empezar por analizar un caso típico. Tomemos el enunciado de ley "El magnetismo desaparece por encima de la temperatura de Curie" (que para el hierro es de 770°C). Para fines de análisis será conveniente reformular nuestra ley como condicional explícito: "Si la temperatura de un cuerpo imantado rebasa su punto de Curie, entonces el cuerpo pierde su imantación". (Esta formulación es, ciertamente, una simplificación extrema, como cualquiera otra traducción de una ley científica al lenguaje común: el punto de Curie no es la temperatura a la cual desaparece todo magnetismo, sino el punto de conversión del ferromagnetismo en paramagnetismo, o a la inversa. Pero esa precisión es irrelevante para la mayoría de los fines tecnológicos.) Nuestro enunciado nomológico suministra la base del enunciado nomopragmático "Si se calienta un cuerpo imantado por encima de su punto de Curie, entonces pierde su imantación". (El predicado es, naturalmente, 'se calienta'. Sobre el concepto de enunciado nomopragmático, cf. sec. 6.5.) Este enunciado nomopragmático es a su vez el fundamento de dos reglas diferentes, a saber, *R*1: "Para desimantar un cuerpo, caliénteselo por encima de su punto de Curie", y *R*2: "Para evitar la desimantación de un cuerpo, no se le mantenga por encima de su punto de Curie". Las dos reglas tienen el mismo fundamento, esto es, el mismo enunciado nomopragmático subyacente, el cual se apoya a su vez en un enunciado nomológico del que se supone que representa una estructura objetiva. Además, las dos reglas son equieficientes, aunque no en las mismas circunstancias (sino que al cambiarse los objetivos se cambian los medios). Hasta este punto la situación puede caracterizarse por medio de la relación de presuposición $\dashv$, dilucidada en la sec. 5.1:

$$\textit{Enunciado nomológico} \vdash \textit{Enunciado nomopragmático} \dashv \{\textit{Regla } 1, \textit{Regla } 2\}$$

*Al nivel proposicional, la estructura del enunciado nomológico es la misma del enunciado nomopragmático, a saber, "$A \rightarrow B$". Una de las diferencias entre ambos se encuentra en la significación del símbolo antecedente 'A', que en el caso del enunciado nomológico se refiere a un hecho objetivo, mientras que en el caso de un enunciado nomopragmático se refiere a una operación humana. La Regla 1 puede simbolizarse escribiendo 'B *per* A', expresión que leeremos 'B por medio de A', o bien 'Para obtener B, hacer A' o 'Para el fin B, usar los medios A'. La estructura de la Regla 2 es en cambio '$-B$ *per* $-A$', que puede leerse 'Para evitar B, no hacer A'. El consecuente de la fórmula legaliforme "$A \rightarrow B$" se ha convertido en el "antecedente" de la Regla *R*1, y el antecedente de aquella ley en el "consecuente" de esta regla. O, más bien, el antecedente lógico de la fórmula legaliforme y su negación son ahora los medios, mientras que el consecuente lógico y su negación son cada uno el fin de una regla. (Pero mientras que el antecedente de un enunciado legaliforme es suficiente para que ocurra el hecho al que se refiere el

consecuente, el "consecuente" de la regla puede ser sólo necesario para alcanzar el objetivo expresado por el "antecedente".) Resumiremos los anteriores resultados en las siguientes fórmulas expresadas en el metalenguaje y válidas para leyes y reglas elementales:

$$\text{“}A \rightarrow B\text{”}\ \textit{fund}\ (\text{“}B\ \textit{per}\ A\text{”}\ \textit{vel}\ \text{“}{-B}\ \textit{per}\ {-A}\text{”}) \qquad [11.1]$$

$$\text{“}B\ \textit{per}\ A\text{”}\ \textit{aeq}\ \text{“}{-B}\ \textit{per}\ {-A}\text{”} \qquad [11.2]$$

En esa fórmula '*fund*' significa "fundamenta" o "es el fundamento de" '*vel*' representa "o", y '*aeq*' significa "equieficiente". Al igual que '*per*' son conectivas de reglas.

Obsérvense las profundas diferencias entre fórmulas legaliformes nomológicas y reglas. En primer lugar, los functores '*fund*' y '*aeq*' no tienen equivalentes sintácticos. En segundo lugar, "*B per A*" no tiene valor veritativo. En cambio, las reglas tienen *valores de efectividad.* Más exactamente, podemos decir que una regla de la forma "*B per A*" tiene por lo menos uno de tres valores de efectividad: puede ser efectiva (valor que simbolizaremos por la cifra '1'), inefectiva ('0') o indeterminada (símbolo: '?'). Esta diferencia se capta del mejor modo comparando la tabla veritativa de "$A \rightarrow B$" con la tabla de eficiencia de la regla asociada "*B per A*":

Tabla veritativa de la ley "$A \rightarrow B$"

A	*B*	$A \rightarrow B$
1	1	1
1	0	0
0	1	1
0	0	1

Tabla de efectividad de la regla "*B per A*"

A	*B*	"*B per A*"
1	1	1
1	0	0
0	1	?
0	0	?

Mientras que el condicional no es falso más que en el caso de que el antecedente sea verdadero y el consecuente falso, el único caso en que la regla es efectiva es aquel en el cual los medios *A* se aplican y se consigue el fin *B.* Podemos decidir que "*B per A*" es inefectiva sólo cuando los medios estipulados, *A*, se ponen en práctica y no se obtiene el resultado deseado *B.* Pero si no aplicamos los medios (casos de las dos últimas filas de valores de la tabla), no podemos decidir acerca de la regla, se obtenga o no se obtenga el fin: de hecho no aplicar los medios indicados por la regla es pura y simplemente no aplicar la regla. La lógica de las reglas es, pues, al menos de tres valores.

Hemos dicho antes que "*B per A*" y "*–B per –A*" son equieficientes, aunque no en las mismas circunstancias. Esto significa que en cualquier caso hay por lo menos una combinación de medios y fines que cae bajo la regla, aunque la combinación no es la misma en los dos casos. De hecho, las tablas de efectividad de las dos reglas son diferentes, como muestra la siguiente tabla, en la cual se exponen las cuatro combinaciones posibles de medios y fines:

A	–A	B	–B	B per A	–B per –A	–B per A	B per –A
1	0	1	0	1	?	0	?
1	0	0	1	0	?	1	?
0	1	1	0	?	0	?	1
0	1	0	1	?	1	?	0

Se obtiene fácilmente una generalización obvia de las tablas anteriores haciendo que *A* y *B* tomen cualquiera de los tres valores 1, 0 y ? Y se obtiene una generalización en otro sentido sustituyendo '1' por la frecuencia relativa *f* de éxitos, y '0' por su complemento 1 – *f*.*

La relación entre una fórmula nomológica como "*A* → *B*" y las reglas "*B per A*" y "*–B per –A*" no es lógica, sino pragmática. Estipulamos la relación sentando la siguiente *Metarregla:* Si "*A* → *B*" es una fórmula nomológica, pruébese con las reglas "*B per A*" o "*–B per –A*". Nuestra regla dice 'pruébese con', y no 'adóptense', y ello por dos razones. En primer lugar, toda fórmula nomológica es rectificable, y, por tanto, la regla correspondiente puede experimentar alteraciones. En segundo lugar, una fórmula legaliforme puede referirse a un modelo demasiado idealizado de sistema concreto, en cuyo caso la regla correspondiente será ineficiente o casi ineficiente. Tomemos otra vez la ley de la desmagnetización. Al formular los enunciados legaliformes correspondientes (el nomológico y el nomopragmático), presupusimos que sólo son relevantes dos variables, a saber, la imantación y la temperatura: pasamos por alto la presión y otras variables que pueden producir diferencias. Aún más: ni siquiera planteamos el problema tecnológico de la construcción de un horno eficiente, rápido y barato para calentar el material, y tal que su composición química no se altera por el contacto con el aire durante la operación. Ahora bien, la eliminación de algunos de esos "detalles" puede arruinar la eficiencia de la regla. Para tenerlos en cuenta necesitamos más enunciados legaliformes, incluso a veces teorías enteras o fragmentos de ellas. Pero hasta así puede resultar que, para ciertos fines, otro procedimiento basado en otras fórmulas de leyes (por ejemplo, la aplicación de un campo magnético decreciente alternativamente) sea más eficaz que el calentar. Inferimos de esto que la verdad de una fórmula legaliforme no garantiza la efectividad de las reglas basadas en ella. Por esta razón nuestra metarregla recomienda y no manda usar la regla "*B per A*" una vez establecida como fórmula legaliforme "*A* → *B*".

*Si no podemos inferir la efectividad de una regla a partir de la verdad de la correspondiente fórmula legaliforme, ¿qué decir del procedimiento inverso? Éste está aún mucho menos garantizado. En realidad, puesto que la regla "*B per A*" es efectiva si y sólo si tanto *A* como *B* se dan, podemos satisfacer esta condición adoptando alternativamente infinitas hipótesis, como "*A* & *B*", "*A* ∨ *B*", "A → *B*", "*B* → *A*", "(*A* & *B*) & *C*", "(*A* & *B*) ∨ *C*", "(*A* ∨ *B*) & *C*", "(*A* ∨ *B*) ∨ *C*", etcétera, con '*C*' para designar una fórmula cualquiera. De todas esas infinitas hipótesis, sólo la tercera coincide con nuestro enunciado nomológico "*A* →*B*". Dicho brevemente: dada una fórmula legaliforme nomológica, podemos *probar* con la regla correspondiente, como aconseja nuestra metarregla, pero dada una regla no podemos inferir *nada* acerca de la fórmula legaliforme subyacente. Todo lo que hace una regla con éxito –y ya es mucho– es apuntar las posibles *variables* relevantes y plantear el *problema* de descubrir la relación legal entre ellas.*

Lo dicho tiene unas consecuencias importantes para la metodología de las reglas y para las interrelaciones entre ciencia pura y ciencia aplicada. Como se ve, no hay ningún camino único que lleve de la práctica al conocimiento, del éxito a la verdad: el éxito no permite una inferencia que vaya de la regla a la ley, sino que plantea el problema de explicar la visible eficiencia de la regla. Dicho de otro modo: los caminos que van del éxito a la verdad son infinitos y, consiguientemente, inútiles o poco menos: no hay manojo de reglas efectivas que pueda sugerir una teoría. Por otro lado, los caminos que van de la verdad al éxito no son muchos, y pueden, por tanto, recorrerse. Ésta es una de las razones por las cuales el éxito práctico, sea de un tratamiento médico o de una medida gubernativa, no es un criterio de verdad para las hipótesis subyacentes. Y por esa misma razón la tecnología, a diferencia de las artes y los oficios precientíficos, no parte de reglas para terminar con teorías, sino al revés. En resolución: ésa es la causa de que la tecnología sea ciencia aplicada, mientras que la ciencia no es tecnología purificada.

Los científicos y los tecnólogos elaboran reglas sobre la base de teorías que contienen enunciados legaliformes y supuestos auxiliares, y los técnicos aplican esas reglas junto con otras sin fundamento (precientíficas). En cualquier caso hay hipótesis específicas que acompañan la aplicación de reglas, a saber, hipótesis que afirman que el caso considerado hace pertinente la regla porque tales o cuales variables –puestas en relación por la regla– se dan efectivamente en él. En la ciencia esas hipótesis son susceptibles de contrastación, y ello tanto en la investigación pura cuanto en la aplicada. Pero en la práctica de la tecnología puede no haber tiempo más que para contrastarlas por la simple aplicación de las reglas junto con esos manojos de hipótesis: lo cual es realmente una contrastación muy pobre, porque el resultado negativo de la misma podrá achacarse tanto a las hipótesis cuanto a la regla o a las inciertas condiciones de aplicación.

A la vista de esas profundas diferencias entre fórmulas nomológicas y reglas, resulta injustificable la persistente confusión de unas con otras y, lo que es peor, la caracterización de las leyes como recetas prácticas. La confusión, con todo, puede explicarse por dos motivos. En primer lugar, todo enunciado legaliforme puede convertirse en fundamento de una o más reglas; así, dada una ley "$L(x, y)$", que relacione las variables x e y, podemos prescribir: "Para medir o computar y a base de x, úsese '$L(x, y)$'" En segundo lugar, la mayoría de los filósofos no tienen presente enunciados nomológicos propiamente dichos cuando hablan de leyes, sino más bien generalizaciones empíricas, a base de las cuales formulan generalizaciones análogas de naturaleza pragmática, o sea, enunciados que contienen predicados pragmáticos: en resolución, parten de enunciados nomopragmáticos pertenecientes al conocimiento ordinario, y a partir de éstos hay efectivamente poca distancia que recorrer para llegar a reglas. Por paradójico que pueda parecer, el hecho es que un tratamiento adecuado de los aspectos pragmáticos del conocimiento exige un planteamiento filosófico no pragmatista.

Preguntémonos, por último, cuáles son las peculiaridades de la previsión tecnológica.

Problemas

11.2.1. Ilustrar los conceptos de regla de conducta, regla de trabajo, regla de signos y regla fundada.

11.2.2. Establecer un paralelismo entre una receta de cocina y una fórmula legaliforme. *Problema en lugar de ese*: Averiguar si las siguientes reglas son fundadas o no: (*i*) "Si no lo entiendes, oponte a ello"; (*ii*) "Para curar a los pacientes mentales, apaléeselos"; (*iii*) "Para prevenir el crimen, castígueselo severamente".

11.2.3. Entre las reglas fundadas que se presentan en la ciencia pura y aplicada podemos distinguir *reglas de decisión* y *reglas de acción*, esto es, reglas que nos permiten hacer decisiones bien fundamentadas y reglas que nos orientan en la ejecución de esas decisiones. Ejemplificar y analizar esas dos clases de reglas.

11.2.4. Discutir si están justificados los siguientes usos del término 'regla': (*i*) La regla del paralelogramo de fuerzas en mecánica; (*ii*) la regla de la mano derecha y la regla de la mano izquierda en teoría electromagnética; (*iii*) la regla de la fase en termodinámica; (*iv*) la regla de cuantización en la teoría cuántica de Bohr y las reglas de conmutación y selección en la teoría cuántica moderna. *Problema en lugar de ése*: Discutir la tesis de que la forma tecnológica de enunciado legaliforme dice: "Es imposible construir x". Cf. K. R. Popper, *The Poverty of Historicism*, 2a. ed., Londres, Routledge & Kegan Paul, 1960, p. 61.

11.2.5. Examinar la caracterización de las leyes de la naturaleza como recetas, instrucciones y reglas de comportamiento y procedimiento. Cf. (*i*) E. Mach, *History and Root of the Principle of Conservation of Energy*, 1872, edición inglesa, Chicago, Open Court, 1911, p. 55: La ley galileana "$s = gt^2/2$" es "la regla de derivación por medio de la cual hallamos, para un t dado, la s correspondiente, y esto sustituye la tabla [de valores empíricamente hallados] que acabamos de mencionar, y lo hace de un modo completo, conveniente y resumido. Ahora bien: esta regla de derivación, esta fórmula, esta 'ley', no tiene en absoluto más valor que el agregado de hechos individuales a los que sustituye. Su valor para nosotros consiste estrictamente en la conveniencia de su uso: tiene un valor económico". (*ii*) M. Schlick, "Causality in Contemporary Physics", 1931, *British Journal for the Philosophy of Science*, XII, 177 y 281, 1961 y 1962. (*iii*) H. Dingler, *Die Methode der Physik*, Munich, 1938.

11.2.6. ¿Carecen de fundamento las reglas establecidas arbitrariamente, esto es, por capricho? O sea, de la afirmación de que no están teoréticamente justificadas, ¿se sigue que carezcan también de fundamento pragmático? ¿Y a qué tipo de lógica obedecen las reglas sin fundamento? *Problema en lugar de ése*: La efectividad de una regla puede medirse por su rendimiento. ¿Podría esa técnica de medición ahorrarnos el trabajo de explicar por qué funciona la regla en la medida en que lo haga?

11.2.7. ¿Es la fundamentación teorética de una regla condición necesaria, suficiente o ni necesaria ni suficiente para su adopción? *Problema en lugar de ése*: Una regla puede considerarse como una relación medios-fines según la cual los medios son en algún sentido necesarios para la consecución del fin. Discutir las siguientes formalizaciones de una regla (*i*) "$F \rightarrow M$"; (*ii*) "$F \rightarrow \Box M$"; 'F' significa fines, 'M' medios, y el cuadrado representa el operador modal "es necesario que". Obsérvese que en ambos casos *a*] se tiene una proposición, y no una prescripción propiamente dicha, y *b*] el concepto de necesidad usado no es necesariamente físico o pragmático.

11.2.8. Los psicoanalistas suelen decir que su sofá es la piedra de toque de sus hipótesis, indicando así que la teoría psicoanalista tiene que ser verdadera si la terapéutica psicoanalista es eficaz (cosa que no es, dicho sea de paso). Examinar esa argumentación. *Problema en lugar de ése*: La apologética religiosa y los políticos suponen que sus respectivas clientelas, actuales o históricas (argumento histórico), prueban la verdad de sus opiniones. ¿Es correcta esa pretensión?

11.2.9. Tanto la ciencia pura como la ciencia aplicada aplican y elaboran reglas ¿Cuál es la diferencia entre una regla científica de procedimiento (por ejemplo, una regla para teñir los tejidos orgánicos que hay que observar con el microscopio) y una regla tecnológica de procedimiento (por ejemplo, una regla para teñir tejidos industriales de tal o cual clase)? *Problema en lugar de ése*: Examinar la tesis de que la raíz de la diferencia ética entre la ciencia y la técnica es que una misma ley puede fundamentar dos reglas contrarias. Cf. M. Bunge, *Ethics*, pp. 258-263, Dordrecht, Reidel, 1989.

11.2.10. Considerar el principio "Toda regla tiene que ser fundamentada o rechazada en base al conocimiento científico." ¿Es una generalización de nuestra experiencia sobre reglas, una esperanza infundada o una metarregla programática justificada por la historia? *Problema en lugar de ése*: Establecer una relación entre la lógica de las reglas y la lógica de tres valores. Observar que si se completa la tabla de eficiencia de "*B per A*", atribuyendo a *A* y *B* valores intermedios, entonces esa tabla coincide plenamente con la tabla veritativa de la cuasi-implicación en la lógica de tres valores. Sobre esto último, cf., por ejemplo, H. Reichenbach, *Philosophic Foundations of Quantum Mechanics*, Berkeley y Los Ángeles, University of California Press, 1946, p. 151.

11.3. LA PREVISIÓN TECNOLÓGICA

Para la tecnología, el conocimiento es principalmente un medio que hay que aplicar para alcanzar ciertos fines prácticos. El objetivo de la tecnología es la acción con éxito, no el conocimiento puro, y, consiguientemente, toda la actitud del tecnólogo cuando aplica su conocimiento tecnológico es activa en el sentido de que, lejos de ser un mero espectador, aunque inquisitivo, o un diligente registrador, es un participante directo en los acontecimientos. Esta diferencia de actitud entre el tecnólogo en acción y el investigador –de especialidad pura o aplicada– introduce algunas diferencias también entre la previsión tecnológica y la predicción científica. (Sobre esta última, cf. cap. 10.)

En primer lugar, mientras que la predicción científica dice lo que ocurrirá o puede ocurrir si se cumplen determinadas circunstancias, la previsión tecnológica sugiere cómo influir en las circunstancias para poder producir ciertos hechos, o evitarlos, cuando una u otra cosa no ocurrirían por sí mismas normalmente: una cosa es prever la órbita de un cometa y otra completamente distinta planear y prever la trayectoria de un satélite artificial. Esto último presupone una elección entre objetivos posibles, y una tal elección presupone a su vez cierta previsión de las posibilidades y su estimación a la luz de un conjunto de desiderata. De hecho, el tecnólogo hará su previsión a base de sus estimaciones (o las de quien le paga) acerca de cómo *debería* ser el futuro si se trata de satisfacer ciertos desiderata: a diferencia del científico puro, el tecnólogo está escasamente interesado por lo que ha de suceder; y lo que para el científico no es más que el estado final de un proceso se convierte para el tecnólogo en un objetivo estimable (o desestimable) que hay que conseguir (o evitar). Una predicción científica típica tiene la forma "Si x ocurre en el momento t, entonces ocurrirá y en el momento t' con la probabilidad p". En cambio, una previsión tecnológica típica es de la forma: "Si hay que conseguir y en el momento t' con probabilidad p, entonces hay que hacer x en el momento t". Dado el objetivo, el tecnólogo indica los medios adecuados, y su previsión establece una relación medios-fin, no una

relación entre un estado inicial y un estado final. Además, esos medios se realizan mediante un determinado conjunto de acciones entre las cuales se cuentan los actos del tecnólogo mismo. Esto nos lleva a una segunda peculiaridad de la previsión tecnológica: mientras que el éxito del científico depende de su capacidad de separar su objeto de sí mismo (especialmente cuando su objeto resulta ser un sujeto psicológico) –o sea, de su capacidad de distanciamiento–, la habilidad profesional del tecnólogo consiste en colocarse él mismo dentro del sistema en cuestión, en cabeza del mismo (fig. 11.3).

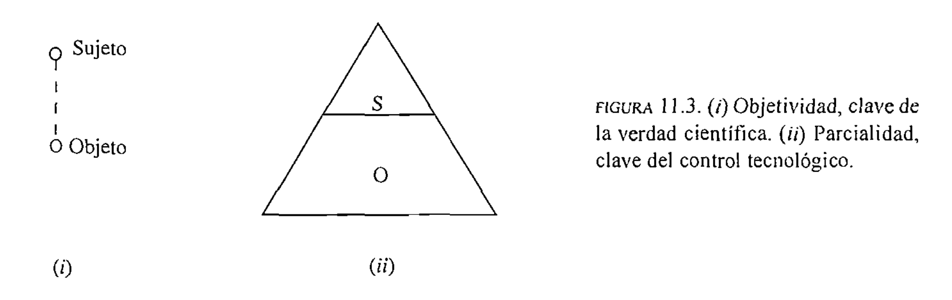


FIGURA 11.3. (*i*) Objetividad, clave de la verdad científica. (*ii*) Parcialidad, clave del control tecnológico.

Esto no le acarrea *subjetividad,* porque en sustancia el tecnólogo se basa en conocimiento objetivo suministrado por la ciencia; pero sí que acarrea parcialidad, un *parti pris* que no conoce el investigador puro. El ingeniero es parte de un complejo hombre-máquina; el psicólogo industrial es parte de una organización, y ambos están obligados a arbitrar y mejorar los medios óptimos para la consecución de desiderata que, por lo general, no eligen ellos mismos: ellos elaboran decisiones, pero no la política o conducta a seguir.

La previsión de un hecho o proceso situado fuera de nuestro control no cambiará el hecho o proceso mismo. Así, por ejemplo, por muy precisamente que prediga un astrónomo el choque de dos astros, este acontecimiento se producirá según su propio curso. Pero si un geólogo aplicado consigue prever un deslizamiento de tierras, podrán evitarse algunas de sus consecuencias. Aún más: proyectando y supervisando las adecuadas obras de defensa, el ingeniero puede hasta evitar el deslizamiento de tierras, es decir, puede trazar la secuencia de acciones capaz de refutar la previsión inicial. Análogamente, un complejo industrial puede pronosticar las ventas del futuro próximo en base a la suposición (un tanto frágil) de que continuará durante ese lapso de tiempo un determinado estado de la economía, por ejemplo una situación de prosperidad. Pero si una recesión falsa ese supuesto y la empresa había acumulado grandes *stocks* de los que tiene que desprenderse, entonces la dirección, en vez de hacer nuevas previsiones de venta (como seguramente hará el científico puro en su campo en situación análoga), intentará *forzar* la realización de las anteriores previsiones aumentando la publicidad, bajando los precios de venta, etcétera. Como en el caso de los procesos vitales, se probará sucesiva o simultáneamente con toda una serie de medios diversos para alcanzar un objetivo fijado. Y para ello habrá probablemente que sacrificar numerosas hipótesis iniciales: en el caso del deslizamiento de tierras, la hipótesis de que no habría fuerzas externas que se opusieran al proceso; en el caso de las ventas, la hipótesis de que persistiría la prosperidad. Consiguientemente, el que la previsión inicial sea *falsada por la fuerza* (como en el caso del deslizamiento de

tierras) o *confirmada por la fuerza* (como en el caso de la previsión de ventas) no puede considerarse contrastación de las hipótesis implicadas: ese hecho será sólo una contrastación de la eficiencia de las reglas aplicadas. En cambio, el científico puro no tiene nunca que preocuparse de cambiar los medios utilizados para alcanzar un objetivo predeterminado, porque la ciencia pura *no tiene* objetivos externos a ella misma.

En suma, la previsión tecnológica no puede usarse para contrastar hipótesis, ni pretende que se haga de ella ese uso: su uso adecuado se orienta al control de cosas u hombres mediante el cambio del curso de los acontecimientos, acaso hasta el punto de detenerlo totalmente; o bien se orienta a forzar el curso predicho de los hechos, aunque interfieran con él acontecimientos impredecibles. Eso vale para las previsiones hechas en ingeniería, medicina, economía, sociología aplicada, ciencia política y otras tecnologías: la mera formulación de una previsión (pronóstico, predicción laxa o predicción propiamente dicha), comunicada a los que elaboran las decisiones, puede ser recogida por éstos para dirigir el curso de los hechos consiguiendo así, si se desean, resultados diferentes de los inicialmente previstos.

Este cambio, apoyado precisamente en la formulación de la previsión, puede contribuir a la confirmación de ésta (previsión auto-satisfactora) o a su refutación (previsión auto-destructora). Este rasgo de la previsión tecnológica no dimana de ninguna propiedad lógica de la misma: es un esquema de la acción social que supone el conocimiento de previsiones, y, como es natural, resulta de suma importancia en la sociedad moderna. Por tanto, en vez de analizar la lógica de la previsión causalmente efectiva debemos empezar por distinguir en ella tres niveles: (*i*) el nivel conceptual, en el que se encuentra la predicción p; (*ii*) el nivel psicológico, que es el conocimiento de p y las reacciones desencadenadas por ese conocimiento; y (*iii*) el nivel social, que son las acciones efectivamente realizadas sobre la base del conocimiento de p y al servicio de objetivos extracientíficos. Este tercer nivel es propio de la previsión tecnológica.

Este rasgo de la previsión tecnológica separa al hombre civilizado de todo otro sistema. Un sistema no predictivo, sea una caja negra o una rana, alimentado con información que pueda digerir, la elaborará y la convertirá en acción en algún momento posterior. Pero un tal sistema no produce intencionadamente tan gran parte de información, ni formula proyecciones capaces de alterar su propio comportamiento futuro (fig. 11.4[*i*]). Un

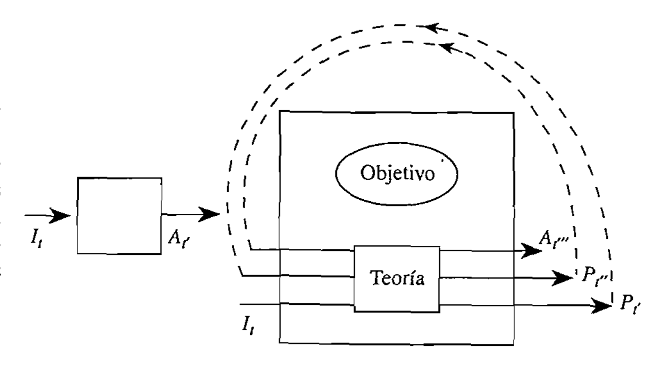


FIGURA 11.4. (*i*) Sistema no-predictivo (por ejemplo, una rana). (*ii*) Sistema predictivo (por ejemplo, un ingeniero): las predicciones realimentan (*feed back*) el sistema y se corrigen, y se elabora un nuevo curso de acción, A_{t}''', si P_{t}'' es suficientemente próximo a F.

"predictor" –un hombre racional, un equipo de tecnólogos o un autómata suficientemente complicado– puede comportarse de un modo completamente distinto. Alimentado con información relevante, I_t, en el momento t, puede elaborarla con la ayuda del conocimiento (o de las instrucciones) de que dispone, y acaso formular una predicción, P_t, en un momento posterior, t'. Esta predicción puede introducirse de nuevo en el sistema y compararse con el fin preestablecido, F, que controla todo el proceso (sin causarlo ni suministrarle energía). Si los dos datos son suficientemente parecidos, el sistema toma una decisión que puede llevarle a obrar para beneficiarse del curso de los acontecimientos. En cambio, si la predicción difiere considerablemente del fin, la diferencia desencadenará de nuevo el mecanismo teorético, que elaborará una nueva estrategia: en el momento t'' se formulará tal vez una nueva predicción $P_{t''}$, una previsión con una referencia a la participación del sistema mismo en los acontecimientos. La nueva predicción vuelve a alimentar el sistema y si sigue siendo muy diferente del objetivo o fin, se desencadenará un nuevo ciclo de corrección, y así hasta que la diferencia entre la predicción y el objetivo o fin se haga despreciable, momento en el cual el mecanismo predictivo del sistema se detendrá. A partir de ese momento, el sistema recogerá más información sobre la situación presente y obrará conforme a la estrategia que ha elaborado. Esa estrategia puede haber requerido no sólo nueva información sobre el mundo externo (incluyendo en ella las actitudes y las capacidades de los individuos afectados o relevantes), sino también nuevas hipótesis o hasta teorías que no estaban presentes en las instrucciones inicialmente recibidas por el predictor. Si éste no registra ese conocimiento adicional, o si no lo obtiene y utiliza, sus acciones serán probablemente ineficaces. Moraleja: cuantos más cerebros, mejor.

Ese proceso autocorrector, basado en la realimentación del predictor por las predicciones, no tiene por qué tener lugar siempre al nivel conceptual. Pueden construirse autómatas, máquinas que imiten (con procesos puramente físicos) algunos rasgos de ese comportamiento. Pero esa imitación no podrá ser sino parcial. De hecho, aunque pueden *almacenar* teorías, y con ellas instrucciones claras para usarlas, las máquinas automáticas carecen de dos capacidades: (*i*) no tienen *juicio*, "olfato", para aplicarlas, es decir, para elegir la teoría más prometedora, o para hacer otras hipótesis simplificadoras más, y (*ii*) no pueden *inventar* nuevas teorías para hacer frente a situaciones nuevas, no predichas por el constructor del autómata y para las cuales sean irrelevantes las teorías almacenadas en la máquina. Y los autómatas no pueden inventar teorías porque no existen técnicas para la construcción de teorías a partir de datos y en un vacío psicológico y cultural, ya por el hecho de que ningún conjunto de datos puede plantear por sí mismo los problemas que se supone resuelve una teoría. Y si no existe ningún algoritmo para la construcción de teorías, tampoco puede alimentarse la calculadora con ningún conjunto de instrucciones para la elaboración de teorías. (Además, el *output* de una calculadora es un mensaje cifrado, como, por ejemplo, una tira de papel perforada.)

Para conseguir un conjunto de ideas hay que empezar por descifrar ese mensaje y "leerlo" o interpretarlo. Y aunque el descifrado puede hacerse automáticamente por la calculadora misma, la interpretación requiere un cerebro bien entrenado y empapado de conocimiento relevante. Supongamos que una calculadora inventara una nueva teoría. ¿Cómo podemos saber que ha ocurrido eso? Por tratarse de una nueva teoría, usará conceptos nuevos, algunos de ellos primitivos o no-definidos; esos conceptos nuevos esta-

rán designados por nuevos símbolos o nuevas combinaciones de símbolos viejos, y, en cualquier caso, se carecerá de hilos conductores para su descifrado: si existieran tales guías para descifrarlos, entonces es que la teoría no sería genuinamente nueva. Pero si no hay descifrado no puede haber interpretación: el mensaje es ininteligible, o sea, no es ningún mensaje, y podemos perfectamente suponer que la máquina se ha estropeado o ha fallado.

La anterior exposición de la previsión tecnológica se basa en el supuesto de que esa previsión descansa en alguna teoría, o más bien en algunas teorías, sustantivas u operativas, Este supuesto puede parecer injustificado a quienes saben que las previsiones formuladas por técnicos de la medicina, las finanzas o la política tienen frecuentemente éxito pese a no suponer mucha teoría. Eso es verdad: la mayoría de las veces los *pronósticos de los especialistas* se basan en generalizaciones inductivas (empíricas) de la forma "*A* y *B* ocurren conjuntamente con la frecuencia observada *f*", o incluso meramente "*A* y *B* ocurren conjuntamente en la mayoría de los casos", o "Generalmente, cuando se da *A* se da *B*". La observación de que un individuo dado, por ejemplo, un sujeto humano o una concreta situación económica, tiene la propiedad *A* se usa entonces para pronosticar que tiene o tendrá la propiedad *B*. En la vida ordinaria no pasamos de pronósticos de esa naturaleza, y lo mismo puede decirse de la mayoría de los pronósticos hechos por especialistas técnicos. A veces esos pronósticos hechos con la ayuda del conocimiento ordinario, o de conocimiento especializado, pero no científico, tienen más éxito que los hechos con teorías que cumplen todos los requisitos, pero son falsos o groseramente aproximados; en muchos campos, sin embargo, la frecuencia de aciertos no supera la obtenida lanzando una moneda. Lo importante, empero, es que la previsión del especialista técnico que no *usa teoría científica no es una actividad científica*, y ello ya en razón de la definición de "predicción científica" (sec. 10.1).

Pero *sería un error pensar que los técnicos no hacen uso de conocimiento especializado* cuando no utilizan teorías científicas: siempre juzgan sobre la base de algún conocimiento especial. Sólo que el conocimiento del técnico no es siempre explícito y articulado, razón por la cual no es tampoco fácilmente controlable: es un conocimiento que no aprende ágilmente de los fracasos y que resulta difícil de contrastar. Para el progreso de la ciencia, el fallo de una predicción científica es con mucho preferible al éxito de un pronóstico de técnico porque el fracaso científico puede realimentar la teoría causante de él y darnos así una posibilidad de mejorarla, mientras que en el caso del conocimiento del técnico especialista no hay teoría en la cual reintroducir nada. Sólo a propósito de fines prácticos inmediatos son los pronósticos del técnico, basados en generalizaciones superficiales, pero bien confirmadas, preferibles a las arriesgadas predicciones científicas.

Otra diferencia entre el pronóstico del técnico y la previsión tecnológica propiamente dicha puede parecer la siguiente: el primero se basa más intensamente que la predicción científica en la *intuición*. Pero la diferencia es más de grado que de clase. El diagnóstico y la previsión, igual en la ciencia pura que en la aplicada o en las artes y oficios, suponen intuiciones de varias clases: la rápida identificación de una cosa, acontecimiento o signo; la captación clara, aunque no necesariamente profunda, de la significación y/o de las relaciones recíprocas de un conjunto de signos (texto, tabla, diagrama, etc.); la capacidad de interpretar símbolos; la de formar modelos espaciales; la habilidad en la captación de analogías; la imaginación creadora; la inferencia catalítica, esto es, el paso rápido de al-

gunas premisas a otras fórmulas saltándose pasos intermedios; la capacidad de síntesis, o visión sintética; el sentido común (lo que quiere decir, control de la arbitrariedad) y juicio sano. Esas capacidades se combinan con el conocimiento especializado, científico o no, y se refuerzan con la práctica. Sin todo eso no se podrían inventar ni aplicar teorías, pero, desde luego, ello no quiere decir que tales capacidades sean potencias suprarracionales. La intuición es valiosa mientras va controlada por la razón y el experimento: sólo hay que temer la sustitución de la teoría o el experimento por la intuición.

Un peligro relacionado con ése se presenta con los *instrumentos pseudocientíficos de proyección*, tan corrientes en la psicología y la sociología aplicadas. Se han elaborado unas cuantas técnicas para prever el rendimiento de personal, de estudiantes y hasta de los psicólogos mismos. Algunos tests de ese tipo, los objetivos, son algo de fiar, por ejemplo, los de inteligencia y habilidad. Pero la mayoría, particularmente los tests subjetivos (la "estimación global" de la personalidad mediante entrevistas, el test de apercepción temática, el test de Rorschach, etc.) son en el mejor de los casos ineficientes y en el peor de los casos confusionarios. Cada vez que se han sometido a contrastación sus resultados entendidos como predicciones –esto es, cada vez que su resultados se han comparado con el efectivo rendimiento de los sujetos–, aquellos tests han fallado. El fallo de la mayoría de los tests psicológicos, y especialmente de los subjetivos, no es un fallo de la idea misma del test psicológico: la causa de esos fracasos es la ausencia total o la falsedad de las teorías psicológicas subyacentes. Someter a test las capacidades humanas sin establecer antes *leyes* que correlacionen índices objetivos de capacidades o de rasgos personales es tan insensato como el pedir a un primitivo que practique un test de rendimiento sobre aviones. Mientras no se tengan firmes fundamentos teoréticos del test psicológico, su utilización como instrumento de predicción es tan mala como la de la contemplación de la bola de cristal o la decisión por lanzamiento de una moneda a cara o cruz: son prácticamente ineficientes y, aunque tuvieran éxito, no contribuirían al desarrollo de la teoría psicológica. El limitado éxito de los tests psicológicos ha llevado a muchos a desesperar respecto de la posibilidad de hallar un planteamiento científico del estudio del comportamiento humano; pero lo que en realidad hay que inferir es que el intento de conseguir dicho planteamiento no se ha producido sino cuando ya habían invadido el mercado bastantes supuestos tests. Lo malo de la mayor parte de la psicología "aplicada" (educativa, industrial, etc.) es que *no* consiste en una aplicación de la psicología científica. Y la conclusión es que las necesidades prácticas –como las de selección y entrenamiento del personal– no deben imponer la construcción de precipitadas "tecnologías" sin ciencia subyacente.

La previsión tecnológica debiera ser máximamente *confiable*. Esta condición excluye de la práctica tecnológica –pero no de la investigación tecnológica– las teorías insuficientemente contrastadas. Dicho de otro modo: la tecnología tendrá que preferir en última instancia una vieja teoría que haya prestado distinguidos servicios en un dominio limitado y con una imprecisión conocida a una nueva y audaz teoría que prometa previsiones antes inauditas, pero que probablemente es más compleja y, en parte por eso, menos contrastada. Sería irresponsable el comportamiento de un técnico que aplicara en la práctica una nueva idea sin haberla sometido a contrastación en circunstancias controladas. La práctica, incluida la tecnología, tiene que ser más conservadora que la ciencia. Consi-

guientemente, los efectos de una íntima asociación de la investigación pura con la aplicada y de esta última con la producción no son siempre ni totalmente beneficiosos: es verdad que la tecnología desafía y estimula a la ciencia con nuevos problemas y le suministra nuevos instrumentos para la consecución y la elaboración de datos; pero no lo es menos que la tecnología, por su misma insistencia en la seguridad, la normalización o estandardización (rutinización) y la rapidez –a costa de la profundidad, el alcance, la precisión y la asertabilidad– puede retrasar el progreso de la ciencia.

Es claro que la fiabilidad o seguridad, desideratum de la previsión tecnológica, no resulta siempre conseguible. He aquí fuentes frecuentes de incertidumbre: (*i*) falta de teoría adecuada y/o de información adecuada, y (*ii*) "ruido" o variación casual de factores no controlados. Esas deficiencias son las que más agudamente se sienten en el caso de la tecnología, a causa de la complejidad del sistema que maneja y del imperfecto control de sus variables (control que no puede conseguirse más que en las condiciones artificiales ofrecidas por un laboratorio o por unas pocas industrias de alta precisión). Un tercer factor de incertidumbre en materia de previsión tecnológica es que a menudo ésta consiste en una proyección desde un modelo a un sistema real muy alejado del modelo: puede llamarse a esto *extrapolación cualitativa*, para distinguirla de la extrapolación cuantitativa que se refiere a uno y el mismo sistema. Ejemplos: el ingeniero puede construir un modelo a escala reducida de un dique y estudiar así su comportamiento antes de la construcción del modelo a gran escala; el ingeniero aeronáutico puede construir un avión a escala reducida y probarlo en el túnel de viento; y el farmacólogo y el médico investigador pueden tomar cerdos o monos –mejor cerdos– como modelos materiales del hombre.

También en la ciencia pura se hacen tales modelos materiales y las correspondientes extrapolaciones: el biólogo experimentará *in vitro* con cultivos antes de hacerlo *in vivo*, y el psicólogo estudiará cómo el aislamiento afecta el comportamiento de los monos, como guía para su estudio del comportamiento humano. Pero la *finalidad* del uso de esos modelos materiales es del todo diferente: el científico desea descubrir y contrastar generalizaciones que puedan extrapolarse al sistema que en última instancia le interesa, mientras que el tecnólogo usa modelos materiales para contrastar sus reglas y planos en cuanto a efectividad de un modo fácil y barato: si el modelo material se comporta como estaba previsto puede intentarse pasar ya al sistema que interesa (dique, avión, paciente). Al dar ese paso pueden producirse hechos imprevistos, porque en el sistema real aparecerán algunas variables nuevas, desconocidas en su mayor parte, y porque el control de cada variable es ya poco menos que imposible. La diferencia entre el rendimiento efectivo y el previsto llevará, naturalmente, a alteraciones de los planos originales y probablemente también de las reglas, de tal modo que puedan hacerse nuevas previsiones con menor error. El proceso se autocorrige, pero no está nunca a prueba de cualquier error. Por tanto, el filósofo de la tecnología, igual que el de la ciencia pura, debe confiar en la posibilidad del progreso y, a la vez, estar seguro de la inevitabilidad del error.

Con esto termina nuestra explicación de la aplicación de las ideas científicas. Pasemos ahora a los problemas de su contrastación.

Problemas

11.3.1. Proponer ejemplos de previsiones de técnicos y de predicción tecnológica propiamente dicha. *Problema en lugar de ése*: J. S. Huxley y P. Deane, en *The Future of the Colonies*, Londres, Pilot Press, 1944, anticiparon cierto número de rasgos de las nuevas naciones asiáticas y africanas. ¿Fue una profecía, un pronóstico, una predicción científica o una previsión tecnológica?

11.3.2. Los costes de producción de nuevo equipo suelen subestimarse según un factor que va de 2 a 20. ¿Por qué? Cf. C. Hitch, "Uncertainties in Operations Research", *Operations Research*, *8*, 437, 1960.

11.3.3. ¿Cómo se estima la viabilidad de una nueva cosa o un nuevo procedimiento? En particular, ¿cómo se estiman los dispositivos tecnológicos de alto nivel (por ejemplo, el control de la energía termonuclear)?

11.3.4 Sobre la base de experimentos de laboratorio y de campo, los radiobiólogos han hecho las siguientes previsiones referentes a los daños producidos por las radiaciones emitidas en las explosiones nucleares. (*i*) "Si el nivel de radiación rebasa los 5 roentgen, mata todos los árboles". (*ii*) "Si el nivel de radiación rebasa los 500 roentgen, mata a todos los hombres". (*iii*) "Si el nivel de radiación rebasa esas cifras y llega hasta los 50 000 roentgen, se salvan la mayoría de las bacterias y algunos insectos y muere todo lo demás". Hacer las previsiones correspondientes sobre los posibles efectos de una guerra nuclear. *Problema en lugar de ése*: De los dos comportamientos siguientes, ¿cuál es más adecuado para permitir prever y acaso dominar hechos hoy impredecibles, como los terremotos y el cáncer? Seguir recolectando datos sobre ellos o intentar teorías sobre sus mecanismos.

11.3.5. Estudiar el papel de la previsión en las tácticas y la estrategia de un partido político que se proponga conseguir el poder en un plazo determinado. *Problema en lugar de ése*: Estudiar un problema de previsión tecnológica tratado en las revistas *Operations Research*, *Management Science* o *Technology in Society*.

11.3.6. Hacer un detallado estudio del proceso que lleva del laboratorio de investigación química a la planta piloto y luego a la planta industrial. En particular, estudiar las fuentes de incertidumbre de la previsión hecha, con base en los resultados de laboratorio, sobre los rendimientos de la planta piloto y, con base en éstos, sobre los de la planta industrial. *Problema en lugar de ése*: La previsión tecnológica se hace con la ayuda de teorías. ¿Qué pasa con la previsión del éxito de la previsión tecnológica?

11.3.7. Los psicoanalistas sostienen que no necesitan realizar experimentos de laboratorio ni obtener o elaborar estadísticas porque la teoría psicoanalítica –o lo que se considera tal– ha quedado suficientemente probada en los sofás de los consultorios. En cambio, las estadísticas y los experimentos con grupos de control han establecido que la terapéutica psicoanalítica es en el mejor de los casos inocua. Analizar la situación. Sugerencia: no pierda el tiempo buscando estadísticas en la literatura psicoanalítica, porque no las encontrará. *Problema en lugar de ése*: La obra de I. Pavlov sobre los reflejos condicionados y la teoría del aprendizaje de C. L. Hull, relacionada con aquélla, se han convertido en la base de una nueva psicoterapia basada en la hipótesis central de que los síntomas neuróticos son respuestas condicionadas y mal adaptadas; por tanto, la curación de la neurosis consistiría en desaprender esos hábitos indeseables. Cf. J. Wolpe, *Behavior Therapy Techniques*, Oxford, Pergamon, 1966. Comparar esta situación de una ciencia aplicada con la de una psiquiatría *sin* teoría científica subyacente o basada en una doctrina pseudocientífica.

11.3.8. Algunas técnicas proyectivas como el test de Rorschach se presentan con la pretensión de que son capaces de predecir comportamiento abierto mediante el descubrimiento de rasgos ocultos de la personalidad, sobre la base de la conjetura "El comportamiento está dinámicamente motivado" (suponiendo que tenga algún sentido la expresión 'motivación dinámica'). En el mejor

de los casos, la correlación entre las necesidades y el comportamiento abierto, obtenida con la ayuda de técnicas proyectivas, es de 0,4. Estudiar esta situación y, en particular, averiguar si el fracaso de las técnicas proyectivas se debe (*i*) a la falsedad de la hipótesis subyacente (la cual es demasiado programática y, a la vez, demasiado vaga), o (*ii*) a la falta de una teoría en la que se inserten las hipótesis. Para una estimación de las técnicas de proyección puede verse el trabajo de K. B. Little, "Problems in the Validation of Projective Techniques", *Journal of Projective Techniques*, *23*, 287, 1959. Hojéense los *Psychological Abstracts* en busca de trabajos más recientes. *Problema en lugar de ése*: Discutir el problema ético suscitado por el uso de procedimientos infundados (como las técnicas proyectivas) para la captación de rasgos de la personalidad y la previsión de comportamiento, y examinar las implicaciones éticas de la tecnología en general.

11.3.9. Estudiar la previsión de inventos tecnológicos concretos, como la practican habitualmente los individuos que formulan las decisiones en los institutos de investigación aplicada. En particular, examinar la frase 'La línea de investigación propuesta es científicamente [o técnicamente] posible'. ¿Es esa frase refutable?

11.3.10. Estudiar el problema de las previsiones autosatisfactorias y autodestructoras, lo que los economistas llaman el efecto Morgenstern y Popper el efecto Edipo. Cf. R. K. Merton, *Social Theory and Social Structure*, 2da. ed., Glencoe, Ill., The Free Press, 1957, pp. 128ss., y cap. XI, y R. C. Buck, "Reflexive Predictions", *Philosophy of Science*, *30*, 359, 1963. *Problema en lugar de ése*: ¿Podríamos predecir la autosatisfacción (o la autodestrucción) de una previsión? La predicción de un resultado que lleva a la refutación forzosa de una previsión, ¿es contradictoria con la previsión misma? Si lo es, ¿importa? ¿Y sería posible llevar a cabo tales predicciones con la ayuda de leyes (por el momento desconocidas) de la psicología social?

BIBLIOGRAFÍA

Ackoff, R. L., *Scientific Method: Optimizing Applied Research Decisions*, Nueva York y Londres, John Wiley & Sons, 1962.

Agassi, J., *Technology: Philosophical and Social Aspects*, Dordrecht, Reidel, 1985.

Barbour, I. G., *Technology, Environment and Human Values*, Nueva York, Praeger, 1980.

Boirel, T., *Science et technique*, Neuchâtel, Ed. du Griffon, 1955.

Brown, G. S., "New Horizon in Engineering Education", *Daedalus*, *92*, 341, 1962.

Bunge, M., "Tecnología, ciencia y filosofía", *Anales de la Universidad de Chile*, CXXI, núm. 126, 64, 1963.

——,"Philosophical inputs and outputs of technology", en G. Bugliarello y D. B. Donner (eds.), *The History and Philosophy of Technology*, Urbana, Ill., University of Illinois Press, 1979.

——, *Philosophy of Science and Technology*, parte II, cap. 5, Dordrecht, Reidel, 1985.

Child, A., *Making and Knowing in Hobbes, Vico and Dewey*, Los Ángeles, University of California Press, 1953.

Churchman, C. W., R. L. Ackoff y E. L. Arnoff, *Introduction to Operations Research*, Nueva York y Londres, John Wiley, 1957.

Kotarbinsky, T., *Praxiology. An Introduction to the Science of Efficient Action*, Oxford, Pergamon, 1965.

Le Chatelier, H., *De la méthode dans les sciences expérimentales*, París, Dunod, 1936, caps. 10-13.

Mitcham, C., *Thinking through Technology*, Chicago, University of Chicago Press, 1994.

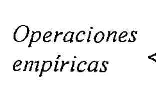
—— y R. Mackey (eds.), *Philosophy and Technology*, Riverside, N. J. The Free Press, 1972.
Morse, P. M., y G. E. Kimball, *Methods of Operations Research*, Nueva York, Technology Press of the M. I. T. and John Wiley & Sons; Londres, Chapman & Hall, 1951.
Petroski, H.. *To Engineer is Human*, Nueva York, St. Martin's Press, 1985, *Philosophy and technology*, anuario, 1983.
Quintanilla, M. A., *Tecnología: Un enfoque filosófico*, Madrid, Fundesco, 1989.
Rapp, F., *Analytical Philosophy of Technology*, Dordrecht-Boston, 1981.
—— (ed.), *Contributions to a Philosophy of Technology*, Dordrecht, Reidel, 1974.
Rescher, N. (ed.), *The Logis of Action and Preference*, Pittsburgh, University of Pittsburgh Press, 1968.
Simon, H. A., *The New Science of Management Decision*, Nueva York, Harper & Row, 1960.
Suppes, P., "The Philosophical Relevance of Decision Theory", *Journal of Philosophy*, LVIII, *Technology and Culture*, II, núm. 4, 1961, número dedicado a Ciencia e Ingeniería.
Susskind, C., *Understanding Technology*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 1973.

PARTE IV

LA CONTRASTACIÓN DE LAS IDEAS CIENTÍFICAS: DE LA OBSERVACIÓN A LA INFERENCIA

Hasta el momento nos hemos ocupado de las ideas científicas y sus aplicaciones. A partir de aquí vamos a estudiar cómo esas ideas se adecuan a los hechos. Como esa concordancia se averigua –o, por mejor decir, se estima– a través de la experiencia, estudiaremos los procedimientos empíricos por los cuales se somete a prueba las ideas referentes a hechos: esos procedimientos son la observación, la medición y el experimento. De este modo cerraremos el círculo que arranca de los hechos, los cuales plantean preguntas que llevan a ideas que requieren a su vez contrastaciones empíricas, contrastaciones por los hechos.

Las operaciones empíricas se practican en la ciencia con finalidades cognoscitivas o con finalidades prácticas. Operaciones empíricas de orientación cognoscitiva son las realizadas para averiguar datos, producir conjeturas o contrastar ésas. Operaciones empíricas de orientación práctica son las que apuntan a contrastar reglas de procedimiento o concretos sistemas también procesuales (materiales, instrumentos, personas, organizaciones). Cuando nos preguntamos '¿Cuál es la longitud de *c*?' reaccionamos estableciendo una medición apta para obtener el dato deseado. Si nuestra pregunta es '¿Qué sucedería si ocurriera *p*?', podemos hacer una observación o un experimento que contenga la producción de *p* y nos dé un resultado expresado por una proposición, *q*, y de este modo habremos producido la hipótesis "Si *p*, entonces *q*". (En particular, *q* puede ser incluso: "No sucede nada".) Y si nos preguntamos "¿Es verdadera *p*, y en qué medida?", puede ser que tengamos que establecer toda una serie de operaciones empíricas planeadas para obtener una respuesta determinada, con lo que habremos contrastado la hipótesis *p*. Todas esas son operaciones empíricas de orientación cognoscitiva. Si, en cambio, nos preguntamos por la eficiencia de una regla como "*q per p*", o acerca de la fiabilidad o la robustez de un instrumento, o por la resistencia o la imaginación de una persona, entonces podrá decirse que nuestras operaciones tienen una finalidad práctica. En resumen, pues, tenemos las siguientes clases de operaciones empíricas:



- *De orientación cognoscitiva* (Incrementadoras del conocimiento)
  - 1. Recolección de datos
  - 2. Producción de hipótesis
  - 3. Contrastación de hipótesis
- *De orientación práctica* (Incrementadoras del poder eficaz)
  - 4. Contrastación de reglas
  - 5. Contrastación de sistemas

A continuación se insistirá sobre todo en los procedimientos empíricos de orientación cognoscitiva, o sea, en las observaciones, mediciones y los experimentos que tienden a recoger información, sugerir ideas y contrastar éstas.

Ahora bien: los resultados de las operaciones empíricas que tienden a incrementar nuestro conocimiento son insignificantes por sí mismos: tienen que interpretarse y estimarse, o sea, hay que "obtener" de ellos alguna "conclusión". Dicho de otro modo: para que esos resultados empíricos sean relevantes para las ideas científicas hay que realizar ciertas inferencias. Por esa razón la presente y última parte de este libro se termina con un capítulo dedicado al paso del dato a la conclusión hipotética y viceversa.

12. OBSERVACIÓN

La observación es el procedimiento empírico básico. Tanto la medición cuanto el experimento suponen observación, mientras que ésta se realiza sin precisión cuantitativa (o sea, sin medición) y sin cambiar deliberadamente los valores de ciertas variables (o sea, sin experimentación). El objeto de la observación es, naturalmente, un hecho actual; el producto de un acto de observación es un dato, o sea, una proposición singular o existencial que exprese algunos rasgos del resultado de la acción de observar. Se ofrece, pues, un orden natural para nuestro estudio: el orden hecho-observación-dato. Nuestra discusión se terminará con un examen de la función de la observación en la ciencia.

12.1. HECHO

La ciencia factual se dedica por definición a averiguar y entender hechos. Pero ¿qué es un hecho? O, mejor formulado, ¿qué significa la palabra 'hecho'? Adoptaremos la convención lingüística que consiste en llamar *hecho* a cualquier cosa que sea, o de que se trate, como, por ejemplo, todo aquello de lo que se sepa o se suponga –con algún fundamento– que pertenece a la realidad. De acuerdo con ese criterio son hechos, por ejemplo, este libro y el acto de leerlo; en cambio no son hechos las ideas consideradas en sí mismas, esto es, independientemente de quienes las piensan.

Solemos distinguir entre los hechos las siguientes clases: estado, acaecimiento o acontecimiento, proceso, fenómeno y sistema. El *estado* en que está una cosa en un instante dado es la lista de sus propiedades en ese instante. Un *acaecimiento*, suceso, acontecimiento, etc., es un cambio de estado de una cosa, y que, por alguna razón se considera en algún respecto como una unidad; además cubre un lapso breve. (Un acaecimiento puntual, sin extensión en el espacio-tiempo, es una construcción teorética sin contrapartida real.) Son ejemplos de acaecimientos un relámpago de luz y la ocurrencia –"relampagueo"– de una idea. Desde un punto de vista epistemológico los acaecimientos pueden considerarse como los elementos a base de los cuales damos razón de procesos, o como los complejos que podemos analizar como confluencias de procesos. En la ciencia los acaecimientos desempeñan dos papeles: tomados como unidades en un nivel superior, se convierten en los objetos del análisis propio de un nivel inferior o más profundo.

*¿Existen acaecimientos inanalizables, esto es, hechos últimos a base de los cuales haya que explicar todos los demás y que no puedan concebirse ellos mismos como objeto de ulteriores análisis más profundos? Según una determinada escuela, acaecimientos como el salto cuántico que se produce cuando un átomo emite un quantum de luz son ulteriormente analizables. No podemos discutir aquí esta cuestión en detalle, pero, como filósofos cautos, deberíamos conjeturar que de nuestra incapacidad para analizar un acaecimien-

to empírica o teoréticamente no puede inferirse con seguridad que el acaecimiento mismo sea atómico en sentido etimológico, o sea, irreducible. La imposibilidad de analizarlo puede deberse a nuestros instrumentos de análisis, ya los instrumentos empíricos, ya los conceptuales, cosa que ha ocurrido muchísimas veces en la historia de la ciencia. Es posible que haya acaecimientos elementales, o sea, realmente inanalizables; pero, si los hay, no podremos saberlo jamás: por eso debemos intentar siempre analizarlos, y considerar que es siempre demasiado pronto para admitir como definitiva nuestra derrota en ese intento.*

Un *proceso* es una secuencia temporalmente ordenada de acaecimientos, tal que cada miembro de la secuencia toma parte en la determinación del miembro siguiente. Según esto, la secuencia de llamadas telefónicas que recibimos durante la semana no es un proceso propiamente dicho, al menos generalmente, pero sí que lo es la secuencia de acaecimientos que empieza por una llamada telefónica al médico y termina con el pago de sus honorarios. Si se analizan con la suficiente profundidad, la mayoría de los acontecimientos resultan procesos. Así, por ejemplo, un rayo de luz consiste en la emisión (por una gran colección de átomos, en tiempos ligeramente diferentes y al azar) de grupos de ondas que se propagan a una velocidad finita. No es tarea fácil la de precisar los procesos presentes en la maraña de los acaecimientos. Rara vez da la experiencia un proceso: en la ciencia al menos, la mayor parte de los procesos se formulan hipotéticamente. Así, por ejemplo, no se ve empíricamente la evolución de las estrellas, sino que hay que imaginar modelos de tal evolución y contrastarlos luego por el procedimiento de registrar e interpretar acaecimientos como las huellas dejadas por la luz de las estrellas en placas fotográficas.

Un *fenómeno* es un acaecimiento o un proceso tal como aparece a algún sujeto humano: es un hecho perceptible, una ocurrencia sensible o una cadena de ellas. La rabia o la cólera no es un fenómeno más que para el sujeto que sufre un acceso de cólera; pero, en cambio, algunos de los acaecimientos somáticos que acompañan a un acceso de cólera –algunos actos de comportamiento– son fenómenos. Los hechos pueden darse en el mundo externo, pero los fenómenos son siempre, por así decirlo, en la intersección del mundo externo con un sujeto conocedor (fig. 12.1). No puede haber fenómenos o apariencias

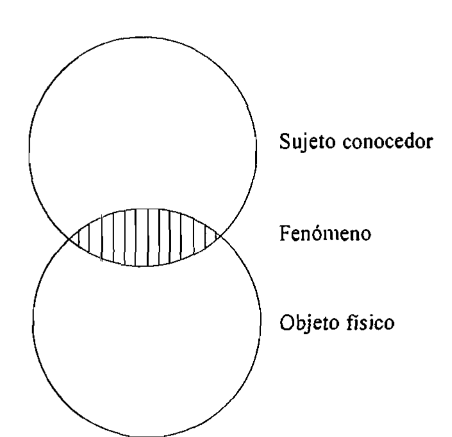


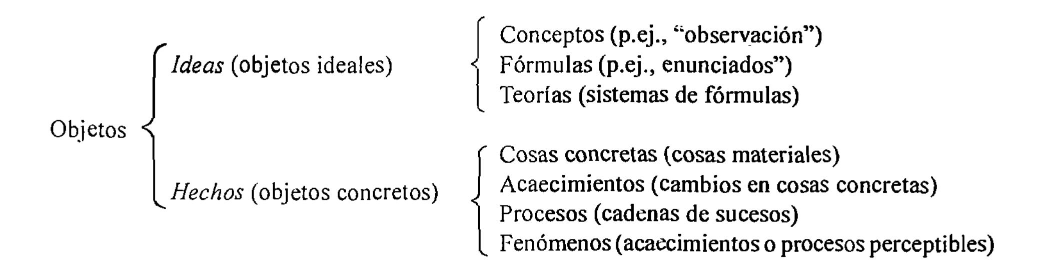
FIGURA 12.1. Los fenómenos como hechos que ocurren en los intercambios entre el sujeto conocedor y su entorno.

sin un sujeto sensible que se sitúe en una adecuada posición de observación. Un mismo acaecimiento (hecho objetivo) puede aparecer de modos diferentes a observadores diferentes, aunque éstos se encuentren equipados con los mismos artificios de observación (cf. sec. 6.5). Esta es una de las razones por las cuales las leyes fundamentales de la ciencia no se refieren a fenómenos, sino a redes de hechos objetivos. El uso de 'fenómeno' no es, empero, coherente: en la literatura científica 'fenómeno' se toma a menudo como sinónimo de 'hecho', igual que en el lenguaje ordinario 'hecho' se confunde frecuentemente con 'verdad'.

(Hay, desde luego, una vieja cuestión filosófica al respecto: la de si tenemos acceso a algo que no sea fenoménico, o sea, que no se presente por sí mismo a nuestra sensibilidad. Si no se admite más planteamiento que el estrictamente empírico, entonces es obvio que sólo los fenómenos se considerarán cognoscibles: tal es la tesis del *fenomenismo* o fenomenalismo. Pero si se admite que también el pensamiento desempeña un papel en el conocimiento, además de la vista, el olfato, el tacto, etc., entonces puede ensayarse una gnoseología más ambiciosa, una gnoseología que suponga que la realidad –incluyendo la experimental– es cognoscible, aunque sólo sea parcial y gradualmente: ésta es la tesis de las varias clases de *realismo*. Según el fenomenismo, el objetivo de la ciencia es coleccionar, describir y sistematizar de modo económico los fenómenos, sin inventar objetos diafenoménicos o trasobservacionales. El realismo, por el contrario, sostiene que la experiencia no es una instancia última, sino que tiene que explicarse a base de un mundo mucho más amplio, aunque sólo cognoscible indirectamente: el conjunto de todos los existentes. Para el realismo la experiencia es una clase de hechos: cada experiencia singular es un acaecimiento que ocurre en el sujeto conocedor, el cual se considera a su vez como un sistema concreto que tiene expectativas y un acervo de conocimiento con dos consecuencias: la deformación y el enriquecimiento de la experiencia. Según eso el realismo estimulará la invención de teorías que rebasen la sistematización de los datos experienciales y requieran consiguientemente ingeniosos procedimientos de contrastación. Hemos visto en varios lugares, especialmente en las secciones 5.9, 8.4 y 8.5, que la ciencia presupone una epistemología realista y va cumpliendo gradualmente el programa de ésta.)

Por último, llamaremos entidades o cosas físicas a los *entes concretos*, con el fin de distinguirlos de objetos conceptuales como las teorías. Una onda de luz es una cosa concreta, y también lo es una comunidad humana, pero una teoría de una u otra cosa es un sistema conceptual. La palabra 'sistema' es filosóficamente más neutral que 'cosa', la cual denota en la mayoría de los casos un sistema dotado de masa y acaso táctilmente perceptible; consideramos natural el decir que un campo de fuerzas es un sistema, pero nos resistiríamos a llamarlo también cosa. Por otra parte, al llamar a todos los existentes 'sistemas' concretos, estamos afirmando tácitamente –de acuerdo con una sospecha que cada vez se refuerza más en todos los terrenos de la ciencia– que no hay entidades simples, sin estructura. Ésa es una hipótesis programática que ha resultado fecunda en el pasado, porque ha estimulado la búsqueda de complejidades ocultas tras las apariencias simples. Tengamos, pues, en claro que al adoptar la convención de que los protagonistas de los acaecimientos deben llamarse sistemas concretos, estamos haciendo una hipótesis ontológica que trasciende el alcance de las ciencias especiales.

Los acaecimientos y los procesos son lo que ocurre a, en o entre cosas concretas. (Dejamos aquí sin considerar la doctrina metafísica según la cual las cosas no son más que conjuntos de acaecimientos, pues esa doctrina es lógicamente incoherente, ya que el concepto de suceso se define como un cambio de estado de una cosa.) Los acaecimientos, los procesos, los fenómenos y las cosas concretas son, pues, los hechos; o, por mejor decir, los incluiremos dentro de la extensión del concepto de hecho. Los hechos son, a su vez, una clase de objetos. Un *objeto* es, en efecto, todo lo que es o puede ser tema del pensamiento o de la acción. Las cosas y sus propiedades son objetos; también los conceptos y sus combinaciones (por ejemplo, proposiciones) son objetos, pero de otra clase: a menudo se les llama *objetos ideales.* Los hechos, el tema de la ciencia factual, son objetos de otra clase: se les puede llamar *objetos concretos*. El siguiente esquema resume brevemente esta cuestión:



¿Qué decir de las *propiedades* físicas, como el peso, y de las *relaciones*, como la subordinación? ¿Debemos contarlos como objetos materiales o como objetos ideales? Si optamos por lo primero, nos vemos obligados a concluir que las propiedades y las relaciones pueden existir por sí mismas, aparte de cualquier cosa concreta y de sus cambios (acaecimientos y procesos); y también que pueden existir cosas concretas desprovistas de toda propiedad. Pero ambas conclusiones discrepan de la ciencia, la cual se ocupa de hallar las propiedades *de* cosas concretas y las relaciones *entre* ellas, y, a un nivel de abstracción más alto, se dedica a investigar también las relaciones entre propiedades y relaciones. Y si incluimos las propiedades y las relaciones entre los objetos ideales, entonces nos vemos constreñidos a la hipótesis de que los objetos concretos tienen componentes ideales, las "formas" del arcaico hilemorfismo. Por ser ideales, esas propiedades y relaciones no serían, además, susceptibles de examen empírico, lo que haría a la ciencia factual no-empírica.

Entonces, si no pueden clasificarse ni como objetos materiales ni como objetos ideales, ¿qué son las propiedades y relaciones físicas? La solución más sencilla a esa cuestión consiste en declarar que no existen. Pero entonces volveríamos a tener cosas sin propiedades y acaecimientos sin relaciones entre ellas, lo que quiere decir que nos encontraríamos en un callejón sin salida a la hora de explicar nuestros éxitos en el descubrimiento de leyes. No parece, pues, que este planteamiento tenga salida, porque no hay ni propiedades ni relaciones *aparte* de las cosas y de sus cambios. Esa reflexión indica la vía razonable del pensamiento por lo que hace a este problema. Empezar por recordar que lo que por de pronto existe son ciertas cosas *con* propiedades y relaciones. Entidades

sin propiedades serían incognoscibles, y, por tanto, la hipótesis de su existencia sería insusceptible de contrastación; y relaciones y propiedades sin arraigo en cosas nos son desconocidas; aún más, toda teoría factual refiere a cosas concretas y a sus propiedades y relaciones (cf. sec. 7.2). En resolución: las propiedades y relaciones de cosas concretas tienen tan escasa existencia autónoma como las ideas. Pero estas últimas, como son obra nuestra, pueden *pensarse* independientemente de los correspondientes procesos cerebrales, y por esta razón podemos considerarlas como una especial clase de objetos: en última instancia, las ideas existen porque alguien las piensa, con lo que no hay razón para pensarlas fuera de toda cosa material, aunque una idea sea un proceso cerebral.

¿Y qué decir acerca de los hechos *posibles*, pero no actuales? ¿Dónde colocarlos? La pregunta misma es en este caso capciosa: desde el momento en que los llamamos "hechos posibles" estamos admitiéndolos como una subclase de hechos, o sea, estamos suponiendo tácitamente que el conjunto de los hechos es la unión de los hechos actuales y los hechos posibles Hasta aquí, pues, la cuestión es puramente verbal. Pero se convierte en problema epistemológico en cuanto preguntamos si la ciencia se limita a las actualidades o trata también de los posibles. Bastan un vistazo a cualquier ciencia para convencerse de que lo último es el caso. Así, por ejemplo, el genetista estudia la clase de todas las "informaciones" que *pueden* transmitirse (sin distorsiones o con ellas) por los organismos a su descendencia, y estima la probabilidad de que una información codificada de ese tipo se transmita efectivamente, o sea, la probabilidad de que se actualice cualquier posibilidad dada. Análogamente, cuando el técnico evalúa decisiones posibles utiliza conocimiento sobre hechos actuales y supuestos acerca de hechos posibles, por ejemplo, acerca de posibles acciones de su oponente (la naturaleza, el competidor, el enemigo). El que un acaecimiento sea posible o no lo sea depende de las leyes de la naturaleza: puede decirse de éstas, metafóricamente, que ponen constricciones a la posibilidad. Pero el que se actualice o no una posibilidad admitida por las leyes de la naturaleza depende del concreto estado del sistema de que se trate (o sea, de sus condiciones iniciales y/o límite, por ejemplo). Así, es posible que una pareja sana dé nacimiento a un niño de dos cabezas: las leyes de la genética no prohíben ese acaecimiento, aunque le atribuyen una probabilidad muy baja. Pero el que una pareja sana dada engendre realmente un tal monstruo depende de las circunstancias concretas que se dieron durante la impregnación.

Hasta el momento nos hemos ocupado de las varias clases de hechos; vamos a echar ahora un vistazo a los hechos en relación con el sujeto conocedor. Podemos producir hechos deliberada o involuntariamente, y podemos también formularlos hipotéticamente. Las incidencias cotidianas nos son en parte dadas, y en parte las hacemos nosotros; el científico experimental averigua más hechos, el teórico formula hipótesis sobre ellos y los explica, y el técnico elabora recetas para la producción económica y para la evitación de los hechos que tienen valor práctico (positivo o negativo, respectivamente). La ciencia se interesa por todos ellos, pero sobre todo por los *hechos no-ordinarios*, o sea, por los hechos que no se encuentran al alcance del lego, sino que requieren instrumentos especiales, empíricos o conceptuales. Así, por ejemplo, la caída del granizo en nuestro tejado no interesará especialmente al meteorólogo, el cual puede, en cambio, interesarse por la formación de nubes de granizo en general, proceso cuyos detalles no son directamente observables, sino que tienen que formularse hipotéticamente (o inferirse, como

también suele decirse). El hallazgo y la elaboración de hechos no-ordinarios es de particular interés para el científico porque no es una cuestión puramente empírica, sino que supone hipótesis, teorías e instrumentos proyectados con la ayuda de tales ideas.

Lo *dado* al científico es muy pocas veces el hecho mismo: generalmente, el científico presenta él mismo alguna evidencia en favor o en contra de la conjetura de que ha ocurrido o puede ocurrir un determinado conjunto de hechos. Así, el meteorólogo no observa la formación de cristales de hielo allá arriba, del mismo modo que tampoco el historiador observa el proceso social del que habla. Lo observable suele ser una pequeña fracción de los hechos que constituyen el objeto de una investigación; los hechos o fenómenos observables no son más que documentos que sugieren o confirman la existencia tras ellos de hechos más interesantes. Los hechos son como los icebergs: su mayor parte está oculta bajo la superficie de la experiencia inmediata, la cual es a menudo muy diversa de los hechos a los que apunta. (Hace mucho tiempo que se notó que lo perceptible no es sino una parte de lo existente, y que muchos fenómenos se originan en acaecimientos imperceptibles. En los primeros días del pensamiento hipotético se identificó lo indivisible frecuentemente con lo sobrenatural e inescrutable. Fue un mérito de los físicos-filósofos jonios el indicar que lo invisible es natural, y que es escrutable a través de sus efectos. Lo que los atomistas griegos no consiguieron fue controlar lo invisible actuando sobre ello y contrastando así efectivamente las hipótesis sobre lo no-perceptible: éste es un logro del hombre moderno.) La porción sumergida de los hechos tiene que ponerse hipotéticamente y, para poder contrastar tales hipótesis, hay que añadirles relaciones determinadas entre lo observado y lo inobservado, relaciones por las cuales lo observado pueda considerarse como evidencia en favor o en contra de lo hipotético y no visto, de modo que lo no-visto pueda explicar lo que vemos. Esas relaciones están representadas por las hipótesis y las teorías. No podemos evitarlas si queremos acercarnos más a los hechos; nuestra única preocupación al respecto tiene que ser el evitar hipótesis infundadas e incontrastables (cf. cap. 5). En la ciencia factual la teoría y la experiencia se interpenetran, no están separadas, y sólo la teoría puede llevarnos más allá de las apariencias, hacia el núcleo de la realidad.

Consideremos, por último, algunos equívocos y algunas paradojas centradas en torno del término 'hecho'. En primer lugar, obsérvese la ambigüedad de la expresión 'es un hecho'. Si decimos 'Es un hecho que la Tierra gira alrededor del Sol' podemos estar pensando (*i*) en la *hipótesis* "La Tierra gira alrededor del Sol" o (*ii*) en el *hecho* al que refiere esa hipótesis. La ambigüedad no es peligrosa mientras la expresión 'es un hecho' no se utilice como expediente retórico para ocultar una hipótesis disfrazándola de dato. Pero, en general deberíamos abstenernos de usar el giro 'es un hecho', y preferir las locuciones más claramente honestas 'afirmamos', o 'suponemos', según el caso.

En segundo lugar, algunos filósofos han llamado con consciente intención hechos a todas las *proposiciones factuales singulares.* Con esta maniobra verbal el problema de la verdad factual, o sea, el problema de la estimación de las proposiciones factuales por medio de criterios de la verdad, se elude sin resolverlo. Además surgen unos cuantos rompecabezas paradójicos. Por ejemplo, hay que admitir entonces hechos negativos, hechos alternativos y hechos generales: si algo no ocurre se llama a ese "algo" un hecho negativo; si quedan abiertas dos posibilidades, la actitud descrita mueve a hablar de un hecho alter-

nativo; y si se presenta un conjunto de hechos de la misma clase esos filósofos los llamarán colectivamente hecho general. Pero todo eso es confusionario y equívoco: lleva a confundir los hechos con las ideas acerca de los hechos. Y esta distinción arraiga en sanas reglas del uso lingüístico según las cuales (*i*) el nombre *hecho* se da a existentes y cambios "positivos" (aunque no necesariamente actuales) exclusivamente, (*ii*) la negación se atribuye a fórmulas, no a la realidad, y análogamente (*iii*) la generalidad se predica de ciertas fórmulas. (Ese hablar de hechos negativos, alternativos o generales puede a veces ser algo más que grosería verbal: puede ser consecuencia de una doctrina filosófica. Así, por ejemplo, algunos sistemas de metafísica hindúes parecen postular la existencia de hechos negativos; la epistemología ingenua del reflejo y la doctrina del isomorfismo entre el lenguaje y la realidad exigen también hechos negativos. Efectivamente: si toda proposición refleja algún aspecto del mundo, entonces una proposición negativa tiene que reflejar un hecho negativo, una proposición general tiene que reflejar un hecho general, una contradicción tiene que reflejar fuerzas en conflicto, etc. Los materialistas, los hegelianos, el primer Wittgenstein y, en algún momento, Russell han sostenido análogas tesis. Nosotros nos abstendremos de reificar operaciones lógicas como la negación, la disyunción o alternativa y la generalización.)

En tercer lugar, una significación o un sentido se atribuyen a menudo a hechos, literal (lo cual puede ser peligroso) o metafóricamente (lo cual es en cambio inocente). Así por ejemplo, podemos decir 'Un gas se enfría por expansión, lo que *significa* que el gas pierde energía térmica al superar cualquier resistencia, externa o interna, que se oponga a su libre expansión'. La palabra 'significa' puede y debe evitarse en un enunciado como el anterior: se puede sustituir ventajosamente por expresiones como 'se debe a', o 'se explica por la hipótesis de'. Cuando un físico escribe descuidadamente que 'el hecho x significa y' no está pensando que los hechos puedan significar nada en sentido literal. En cambio, los filósofos tradicionales se han preguntado a menudo cuál es la significación de la existencia humana, o de la historia humana, etc. Eso es también un lapsus, aunque enormemente peligroso: la cuestión era en realidad cuál era la *finalidad* de ciertos acaecimientos y procesos, cuál era el plano maestro oculto. Por eso la pregunta '¿Cuál es la significación de x?' daba por supuesto que x tenía un "sentido", en el sentido de finalidad, de tal modo que la presencia de x "tenía sentido" en alguna imagen antropocéntrica o teísta. Nosotros evitaremos estos errores atendiendo a la regla lingüística según la cual sólo los signos artificiales pueden significar: los hechos no pueden significar. (Sobre el concepto de significación cf. sec. 2.2.)

Una cuarta confusión se produce por la expresión 'demostración de hechos', que no es infrecuente entre los científicos. Un hecho, como la hipnosis, por ejemplo, puede mostrarse, puede hacerse aparecer, y puede hacerse plausible una hipótesis sobre un hecho determinado; pero sólo los teoremas pueden *demostrarse*, esto es, argüirse concluyentemente. Si se pudieran demostrar en sentido literal los hechos, ellos serían verdaderos, y su ausencia sería falsa (o sea, serían falsos los correspondientes "hechos negativos"), lo cual sería una quinta confusión. Pero no hay hechos verdaderos, desde luego, sino sólo exposiciones de hechos, verdaderas o falsas. Si todo lo que significa la frase 'demostración de hechos' es su presentación, exhibición o despliegue, ¿por qué no decirlo correctamente?

Otra, la quinta expresión confusionaria, es 'hecho científico'. Esta locución significa corrientemente un hecho cuya ocurrencia se averigua, certifica o controla por medios científicos. En este sentido la hipnosis es un "hecho científico" y no lo es la telepatía. La expresión, aunque muy corriente, debe evitarse, porque los hechos son susceptibles de tratamiento científico, pero ellos por sí mismos no sólo no pueden ser científicos, sino que son analfabetos. Los hechos no son ni científicos ni acientíficos: simplemente son. Lo que puede ser científico o acientífico es el pensamiento, las ideas y procedimientos, no sus objetos.

Esto nos bastará como introducción lingüística al estudio de la fuente más elemental del conocimiento: la observación de hechos.

Problemas

12.1.1. Las expresiones 'hecho psicológico' y 'hecho sociológico' son de uso frecuente. ¿Están limpias de ambigüedad?

12.1.2. H. Spencer, en sus célebres *First Principles*, Nueva York, Appleton, 1896, parte II, cap. VIII, menciona algunos supuestos hechos que deben darse por seguros antes de interpretar la evolución biológica, como que la materia (con la significación de "masa") es indestructible (quiere decir "constante"), que el movimiento es continuo y que la fuerza (quiere decir "energía") persiste (quiere decir "se conserva"). ¿Son realmente hechos? ¿Y son tan "duros" como creía Spencer?

12.1.3. Según el apreciado *Vocabulaire technique et critique de la philosophie* (artículo *Données*) de A. Lalande, los datos científicos se identifican con lo dado: el Diccionario llama efectivamente *datos* a los hechos que se presentan al sujeto y sirven como puntos de partida de la investigación. Examinar esa propuesta lingüística y, en particular, la doctrina epistemológica subyacente según la cual (*i*) todos los datos son dados, y (*ii*) lo dado precede a algo conjeturado.

12.1.4. Informar sobre la doctrina platónica del objeto, el nombre, la descripción, la imagen y el conocimiento. Véase su Carta VII, de Platón, 342A-343B.

12.1.5. Examinar la doctrina russelliana sobre los hechos negativos y generales, en "The Philosophy of Logical Atomism", *The Monist*, *28*, 502ss., 1918 y 29, 42ss., 1919. *Problema en lugar de ése*: Estudiar e ilustrar el concepto de posibilidad de ciertas reacciones, o en las consideraciones del biólogo acerca de la posibilidad de ciertas líneas evolutivas.

12.1.6. Cuando nos enfrentamos con una situación que nos sea familiar podemos sentir la tentación de decir que 'los hechos hablan por sí mismos'. Y cuando alguien hace una previsión increíble o una propuesta aparentemente inviable tenemos también la tentación de decir 'deja que los hechos lo resuelvan'. Analizar esas expresiones. *Problema en lugar de ése*: Analizar las frases 'Un hecho es un enunciado verdadero' y 'Ese libro expone los hechos básicos acerca de los números.'

12.1.7. La locución 'objeto científico' se popularizó por obra del físico A. S. Eddington, el cual, en un paso célebre de *The Nature of the Physical World*, Cambridge, Cambridge University Press, 1928, habla de dos mesas diferentes: la vulgar mesa lisa de la percepción y la que llamaba mesa científica, que es una colección de moléculas. ¿Efectivamente hay dos objetos diferentes, uno vulgar y otro científico, o más bien dos conceptos e imágenes diferentes de un mismo objeto? ¿Y es posible tener una noción vulgar de todo objeto accesible a la ciencia? Cf. L. S. Steebbing, *Philosophy and the Physicists*, Londres, Methuen, 1937, cap. III.

12.1.8. La descripción de hechos supone y maneja conceptos universales, como "cosa" y "dura", y puede perfectamente presuponer también enunciados de leyes, como las leyes física y química

de conservación que "garantizan" que nuestro escritorio no va a desaparecer ni a convertirse en una momia egipcia mientras estemos fuera de nuestro cuarto de trabajo. Por tanto, toda descripción de un hecho es al mismo tiempo y en alguna medida una interpretación del mismo a la luz de algún cuerpo de conocimiento. ¿Suprime esto la distinción entre hechos e interpretación de hechos?

12.1.9. Examinar la tesis según la cual las ciencias de la naturaleza estudian la experiencia humana –los fenómenos– y no la naturaleza, los hechos objetivos. *Problema en lugar de ése*: Analizar la doctrina, en otro tiempo muy difundida, expuesta por A. N. Whitehead y según la cual los objetos físicos no son más que sistemas de acaecimientos puntuales.

12.1.10. Discutir la doctrina expuesta por G. Ryle: en *Dilemmas*, Cambridge, Cambridge University Press, 1954, cap. VII, según la cual no existe el fenómeno de la percepción (de la visión, por ejemplo), sino un uso incorrecto del verbo 'percibir', el cual nos engaña haciéndonos creer que la palabra denota un proceso correlatado, por ejemplo, con procesos fisiológicos. *Problema en lugar de ése*: ¿Es el análisis lingüístico una propedéutica para la epistemología o una adecuada sustitución de ésta?

12.2. OBSERVABILIDAD

La observación propiamente dicha puede caracterizarse como una percepción *intencionada* e *ilustrada*: intencionada o deliberada porque se hace con un objetivo determinado; ilustrada porque va guiada de algún modo por un cuerpo de conocimiento. El objeto de la observación es un hecho del mundo interno o externo del observador. En particular, el objeto externo puede consistir en una serie de señales en un papel: la lectura, que supone a la vez visión e interpretación, es efectivamente un caso típico de observación. Si el hecho ocurre en el observador, puede ser necesaria la introspección, porque un observador externo no consigue observar más que los actos de comportamiento que acompañan a un hecho interno. Pero sea interno o externo, el objeto tiene que ser perceptible para que podamos hablar de observación directa. Convendremos en usar el término 'observación' en un sentido estricto de *observación directa*. La "observación" de choques moleculares o de los sentimientos de otras personas es indirecta: es una *inferencia* hipotética que se sirve de datos de observación y de hipótesis. En el mejor de los casos puede entenderse como una *observación indirecta*.

No hay observación pura, es decir, observación sin objeto observado, del mismo modo que tampoco la hay sin observador, humano o no. Cuando alguien dice 'x está observando' quiere decir que hay al menos un objeto (actual o posible), y, que está siendo observado por x, o sea "($\exists y$) (x es un sujeto & y es un sistema concreto & x observa y)". Esto puede generalizarse a toda experiencia: la experiencia no es un objeto autosubsistente, sino una cierta transacción entre dos o más sistemas concretos, uno por lo menos de los cuales es el organismo que experimenta. La experiencia es siempre de alguien y de algo. Por eso los enunciados de experiencia son de la forma 'x experiencia y', y no simplemente 'x experiencia'. Había que dejar establecido este punto elemental a causa de la doctrina que afirma que la física moderna no trata de objetos físicos, sino de experiencias puras.

La observación de un acaecimiento, como el paso de una muchacha o el *clic* de un contador Geiger, no es un percepto aislado y en bruto, sino un haz de sensaciones instan-

táneas, recuerdos y acaso expectativas de acaecimientos semejantes. Hábitos y creencias enlazan el percepto dado con recuerdos de la experiencia pasada y expectativas de acaecimientos futuros. Ningún percepto tiene lugar en el vacío: si así fuera seríamos incapaces de discriminar entre las observaciones, por no hablar ya de interpretarlas. A diferencia de la sensación en bruto, la observación es *selectiva* e *interpretatitva*: es selectiva porque tiene una finalidad, porque es intencionada, y es interpretativa porque es ilustrada. Sentados tranquilamente ante la mesa de un café en una terraza soleada, recibimos una serie de impresiones que no nos preocupamos ni de ordenar ni de interpretar, porque no tenemos más intención que la de disfrutar de esas experiencias mismas. En cambio, si nos encontramos sentados ante el tablero de control de un microscopio electrónico, con la intención de estudiar la estructura de ciertas vesículas celulares, seleccionaremos precisa y exclusivamente los perceptos que supongamos relevantes para nuestro objetivo, y los integraremos en nuestro conocimiento especializado. (Nuestro objetivo es, naturalmente, conseguir información relevante abundante y precisa. El acento recae en la relevancia: el exceso de detalle, si es irrelevante, puede resultar tan molesto en la ciencia como en la vida cotidiana. El naturalista aficionado registrará montones de hechos que despreciará el biólogo profesional en su trabajo de campo; en cambio, este último recogerá unas pocas observaciones esenciales que en gran parte habrán pasado inadvertidas al observador sin entrenamiento, por falta de un objetivo determinado; pues ese objetivo no puede venir dado sino por un sistema conceptual.) Además, al mismo tiempo interpretaremos lo que estamos viendo, o parte de ello: lo que parece al lego una mera mancha oscura puede ser una vesícula según la interpretación del especialista en morfología. Y claro que esa interpretación puede ser errada, es decir, que el resultado de nuestra observación puede ser falso. Pero, en cualquier caso, la interpretación es algo más que inevitable en la observación: es conveniente, porque tenemos que interpretar lo que percibimos, si es que queremos hacer una selección de objetos perceptuales relevantes para nuestras ideas y nuestros objetivos. Si no tenemos ideas ni objetivos, no podremos registrar nada, o bien tendremos que registrar todo lo que cae dentro de nuestro horizonte perceptual: pero ambas cosas serán indiferentes desde el punto de vista de la ciencia.

En la observación podemos distinguir el acto de su producto. Pero el producto de un acto de observación no es sino el último eslabón de un proceso complejo. Ese proceso puede analizarse en los siguientes pasos: (*i*) tomar consciencia del objeto, (*ii*) reconocer el objeto a grandes rasgos y (*iii*) describir el objeto. El primer estadio es la *presentación* del objeto, o sea, su percepción por el observador. Por ejemplo, un astrónomo ve una mancha de luz al dirigir el telescopio en una determinada dirección (con la expectativa de ver algo interesante). En general: El sujeto w tiene la percepción x de un objeto y en las circunstancias z. La naturaleza del objeto está aún por precisar. El segundo estadio es la *interpretación preliminar* de lo que ha percibido el sujeto: así se determina a grandes rasgos la naturaleza del objeto percibido. Por ejemplo, el astrónomo interpreta la mancha luminosa que ha visto como una llama que surge de la corona solar (puede incluso sentirla como una amenaza, cosa que indudablemente es). En general: El sujeto w propone una interpretación v de la percepción x como causada por el objeto y en las circunstancias z. El objeto queda, pues, identificado en alguna medida. El tercer estadio es la *descripción:* toda proposición de la misma es un *dato* y, por el momento, en bruto. Por ejemplo,

el astrónomo describe con un lenguaje más o menos técnico lo que ha visto e interpretado, o sea, lo que ha "leído" con la ayuda de su telescopio. Se abstiene de describir sus propias experiencias (salvo que tenga algo de poeta o loco) y enuncia lo que a su entender es una exposición objetiva de su observación. Al dar esa exposición excluirá sus sentimientos y utilizará algunos términos técnicos, cada uno de los cuales designa un especial concepto teorético o empírico. En general: El sujeto w construye la descripción (imagen, representación) u del objeto y, que causa la percepción x en w en las circunstancias z, y w construye u sobre la base de su interpretación preliminar v y con la ayuda del conocimiento previo explícito t. Esta descripción final o conjunto de datos puede ser a su vez material en bruto para el astrónomo teórico, el cual suministrará una interpretación *teorética* de ese material en bruto, o sea, una interpretación más profunda y detallada que la dada por el observador; por ejemplo, el teórico puede interpretar la llama solar como resultado de una reacción termonuclear.

El lego puede fallar en los tres estadios: puede no llegar ni a *ver* lo que perciben los entrenados ojos del especialista. Y, aunque vea el objeto, puede no *reconocerlo*, porque el reconocimiento o interpretación preliminar es la inserción de algo en un marco preexistente, y si le falta ese marco, el observador se encuentra en un callejón sin salida. Por último, aun reconociendo correctamente el objeto, el lego puede ser incapaz de *describirlo* cuidadosa y adecuadamente y, a fortiori, de proponer una interpretación teorética del mismo. A la inversa, el especialista puede "leer" demasiado en lo que percibe. (Hasta Leonardo da Vinci, el mejor observador de su época, pintaba no sólo lo que veía, sino también lo que había aprendido en los libros: por ejemplo, trazó el esquema de un segundo canal uretral por el cual debía pasar el alma al embrión durante la concepción.) Dicho brevemente: la observación científica es un modo refinado de aprehender el mundo perceptible y de poner a prueba nuestras ideas sobre el mismo: está influenciada por el conocimiento científico y, por tanto, puede ser indirecta igual que directa, y precisa o errada; pero, como sus resultados son públicos, puede controlarse y corregirse mediante el trabajo de un especialista calificado.

En el proceso de observación, antes de que sus resultados se recojan en algún informe, pueden reconocerse esencialmente cinco elementos: el *objeto* de la observación, el *sujeto* u observador (incluyendo, como es natural, sus percepciones), las *circunstancias* de la observación (o medio ambiente del objeto y el sujeto), los *medios* de observación (sentidos, instrumentos auxiliares y procedimientos), y el cuerpo de *conocimiento* en el cual se encuentran relacionados los anteriores elementos. Los medios de observación y el cuerpo de conocimiento relevante pueden agruparse bajo el nombre de *instrumentos* de observación (concretos y conceptuales), lo cual nos deja con cuatro elementos. (Son medios para el observador, pero no para el proyectista de instrumentos, ni para el teórico.) Los enunciados de observación tiene según eso la forma: 'w observa x bajo y con la ayuda de z'.

Hasta el momento hemos considerado la observación actual; dilucidemos ahora el concepto de *observabilidad*. En una primera aproximación podemos estipular que un hecho es observable sólo si existen por lo menos un sujeto, un conjunto de circunstancias y un conjunto de instrumentos de observación, de tal modo que el hecho pueda aparecer al sujeto armado de esos instrumentos y bajo dichas circunstancias. Esta dilucidación depende del

concepto psicológico de apariencia y es, por tanto, insatisfactoria: deberíamos excluir la posibilidad de que los fantasmas se consideraran observables por el mero hecho de que alguien declare de buena fe que se le han aparecido. O sea: deberíamos especificar qué es *objetivamente observable*. Se da un primer paso en esta dirección sustituyendo el observador humano por un instrumento físico de registro, como una máquina fotográfica o un termómetro. Por eso estipularemos que x es *observable* sólo si existe por lo menos un instrumento registrador x, un conjunto de circunstancias y y un conjunto de instrumentos de observación z, de tal modo que w pueda registrar x bajo y con la ayuda de z. Con eso no hemos *eliminado* el sujeto, sino más bien la posibilidad de algunas de las ilusiones perceptuales de éste; pero el sujeto no está eliminado, porque alguien tiene que hacer la interpretación de las señales recogidas por la registradora física. Esta última puede estar dotada de un procedimiento de cifrado y descifrado que le permita hacer ella misma la interpretación, pero tampoco eso eliminaría al observador de carne y hueso, que obraría al menos como proyectista o constructor del aparato. Las registradoras físicas, automáticas o no, no sustituyen al operador humano, aunque facilitan su trabajo, y hacen que sus resultados sean públicos y estén menos sujetos a fluctuaciones imprevisibles e indeseables, con lo que son más precisos y de fiar. Pero todo lo que hemos hecho hasta el momento ha sido *añadir* al observador humano *un expediente de control público*. En cualquier caso, la existencia del aparato de observación, de los instrumentos adicionales y de las circunstancias es *necesaria* para que el hecho en cuestión sea observado: como no es suficiente, no garantiza que sea observado: por eso escribimos 'x es observable sólo si...', y no a la inversa. (Es una condición física de la observabilidad de algún rasgo de un sistema concreto el que éste entre en interacción con un instrumento de observación. Ahora bien, el sistema registrador puede no ser suficientemente sensible: dicho de otro modo, la interacción puede no ser lo suficientemente fuerte para superar el umbral peculiar al aparato, por encima del cual éste responde al estímulo. En este caso el objeto será inobservable con los instrumentos en cuestión, y se presentará el problema técnico de proyectar y construir un aparato más sensible.)

Acabamos de insistir en el carácter público o intersubjetivo de los resultados de la observación científica, condición necesaria para que sea objetiva la ciencia. (Pero no condición suficiente, sin embargo: se sabe que han ocurrido ilusiones perceptivas colectivas y, cosa más común, errores unánimes debidos al uso de teorías erróneas. En cualquier caso, la intersubjetividad no coincide con la objetividad, pero es una condición de ésta.) El carácter público de la observación científica se expresa frecuentemente en forma de regla: una regla que afirma que los resultados de la observación tienen que ser *reproducibles* por otros especialistas en condiciones análogas. Pero esa regla es demasiado exigente, porque excluye todos los hechos no repetitivos. La explosión de una estrella nova, la erupción de un volcán, un acaecimiento político o una crisis emotiva pueden no ser reproducibles a voluntad y, consiguientemente, su observación puede ser irreproducible. Por tanto, todo lo que debemos exigir es que observadores calificados tienen que poder obtener resultados observacionales de *la misma clase* (por ejemplo, erupciones volcánicas) y que, de no ser ello así, los resultados iniciales deben mantenerse en suspenso. La duplicación o repetición exacta es deseable, pero no siempre posible. Y en cualquier caso tampoco es la garantía absoluta de la objetividad: observadores in-

dependientes pueden obtener las mismas observaciones erróneas por el hecho de emplear el mismo equipo inadecuado o las mismas falsas hipótesis. No hay *garantías* de la observación precisa: lo más que podemos hacer es *multiplicar* los controles, o sea, los procedimientos empíricos y teoréticos de detección y corrección de errores de observación.

¿Cómo se relacionan la observación y la existencia física (realidad)? Se han propuesto –o podrían proponerse– unas cuantas doctrinas, que, resumidamente, son:

Doctrina 1. La observabilidad es necesaria para la existencia física, o sea, si una cosa existe, es observable, o, lo que es lo mismo: si algo es inobservable, entonces no existe. Esta doctrina es demasiado estrecha y constrictiva, porque anula la existencia de lo que no hemos sido capaces de concebir como observable. Y, en último término, la observabilidad no es una propiedad intrínseca de las cosas, sino una compleja propiedad relacional que incluye nuestro equipo cognoscitivo, el cual está sin duda condicionado históricamente.

Doctrina 2. La existencia física es necesaria para la observabilidad, o sea, si algo es observable, entonces existe; o lo que es lo mismo: si algo es inexistente, entonces es inobservable. Esta doctrina es demasiado amplia, porque admite la existencia de todo lo que pueda concebirse como observable. Basta un poco de imaginación para construir instrumentos y condiciones en las cuales resultaría observable la cosa más fantasmagórica.

Doctrina 3. La existencia física es necesaria y suficiente para la observabilidad, o sea, una cosa es observable si y sólo si existe. Esta doctrina es falsa, porque es la afirmación conjunta de las doctrinas 1 y 2, cada una de las cuales como hemos visto, es falsa.

Doctrina 4. La observación actual es necesaria para la existencia física, o sea, si una cosa existe, entonces es actualmente óbservada. Esta doctrina es aún más rigurosa que la doctrina 1, y hay que rechazarla a fortiori.

Doctrina 5. La existencia física es necesaria para la observación actual o sea, si algo es observado, entonces existe. Si se toma literalmente, esta doctrina admite y sanciona la inferencia de la existencia física a partir de la observación, sin dar lugar a la posibilidad de la observación errónea. Todo lo que puede inferirse de la observación actual de x es la *plausibilidad* de la hipótesis de que x existe efectivamente: partiendo de informes favorables de observación "concluimos" una proposición sobre el valor veritativo de otra proposición que tiene el rango de hipótesis si x resulta no ser directamente observable. Pero todo esto puede recogerse sin modificar el núcleo de la doctrina 5, sino considerando simplemente como *rectificables* tanto los informes de observación cuanto los supuestos de existencia. Adoptaremos entonces la siguiente versión de la doctrina 5 sobre la relación entre la observación y la realidad:

Doctrina 6. Si una cosa se observa efectivamente con la ayuda de instrumentos empíricos y conceptuales adecuados, entonces puede adelantarse provisionalmente la hipótesis de su existencia física. Si alguien piensa que esta doctrina es excesivamente cauta, le recordaremos que de hecho se han observado muchas veces demonios, fantasmas, platillos volantes, etc., lo cual no ha bastado para confirmar la hipótesis de que existan. Podemos llamar a estos casos percepciones insanas, o inferencias erróneas a partir de percepciones sanas, como queramos: pero en todo caso fueron observaciones. Y en vez de resistirnos a concederles ese nombre, debemos recordar que la observación, y en especial la científica, está muy lejos de ser una relación puramente física entre dos sistemas,

el objeto y el sistema observador: la observación es un proceso en el cual desempeñan un papel decisivo los hábitos, las expectativas, las habilidades prácticas y el conocimiento científico de que disponga el observador, si no durante el registro efectivo de las impresiones, que puede automatizarse, si durante el planeamiento de la observación y durante la interpretación de su producto. Además, los informes de observación no se aceptan, por así decirlo, a tenor de su valor facial, sino que se comparan con otros informes de la misma clase y se analizan a la luz de teorías para ver si son posibles. Como dijimos antes, la observación científica es percepción intencionada e ilustrada, es una operación selectiva e interpretativa en la cual las ideas tienen al menos tanto peso como las impresiones sensibles: eso es precisamente lo que hace que la observación científica sea relevante para el conocimiento conceptual y que, al mismo tiempo, constituya una fuente de error. La compensación es que los errores de observación pueden en principio detectarse, que no son la roca sólida sobre la cual se construye el conocimiento científico, sino un *componente cambiante* del mismo: la observación científica es tan falible y tan rectificable o corregible como la teoría científica, con la cual, por lo demás, está en constante interacción.

El papel de las ideas en la observación es especialmente manifiesto en el caso de los objetos indirectamente observables, o sea, en el caso de inferencia desde el síntoma a la causa por medio de hipótesis. La rotación de un anemómetro informa acerca de la velocidad del viento, que es en sí misma inobservable; el *clic* de un contador informa acerca del paso de un rayo cósmico; la anomalía del movimiento de un astro informa acerca de la posible existencia de planetas que estén perturbando su trayectoria; el rubor informa acerca de la presencia de emociones de cierto tipo, etcétera.

En todos esos casos, en cada uno de ellos, un acaecimiento o propiedad física se considera como síntoma o signo natural de otro objeto, el cual está oculto a la percepción directa. El hallar indicadores u objetificadores de cosas ocultas, de propiedades o acaecimientos ocultos, es una importante tarea de la ciencia, una tarea anterior sistemáticamente a la observación, la cual, a su vez, somete a prueba la conjetura de que esos objetos directamente observables son en realidad manifestaciones de otros. Puede decirse que una propiedad observable es un *indicador fiable* de otra propiedad sólo si existe una relación determinada y constante entre ambas, de tal modo que todo cambio observable de la primera pueda interpretarse como, o atribuirse a, un cambio determinado de la segunda. La propiedad cuya existencia o cuyo valor se infieren de este modo se llama propiedad *indirectamente observable*. La observación indirecta no es, pues, posible sino a través y por medio de la teoría. Cuanto más precisa sea la teoría, tanto más precisa será esa inferencia. Ésta es una de las razones que hacen estimar altamente las teorías matemáticas, pues en este caso las relaciones toman formas muy precisas. (En la sección siguiente se habla más de esto.)

La dependencia de la observabilidad respecto de la teoría suscita cuestiones de interés. He aquí una de ellas: ¿Con qué certeza podemos concluir que una determinada propiedad trasempírica es observable o inobservable en principio? Si se declara observable a una propiedad –quiere decirse: indirectamente observable– y fracasan los esfuerzos hechos por observarla, es posible que la situación permita aprender algo. En cambio, si se la declara inobservable por principio, se habrán reprimido por anticipado líneas enteras de investigación. Por ejemplo, hasta hace pocos años se enseñaba que los átomos serían

siempre invisibles, pese al rendimiento de los microscopios electrónicos más potentes. Afortunadamente, E. W. Müller (1951) puso en duda esa afirmación y, manejando un microscopio iónico a baja temperatura, obtuvo fotografías de átomos singulares; consiguió incluso ver desprenderse un átomo tras otro del retículo cristalino. Se trata, ciertamente, de observación indirecta, pero así es la mayor parte de la observación científica.

En la anterior discusión hemos aceptado como base la llamada *teoría causal de la percepción*. Según ella nuestras percepciones no son nunca espontáneas ni casuales, sino que están producidas según leyes por objetos extraperceptuales, situados dentro o fuera de nuestro cuerpo. Consideramos que esta hipótesis está satisfactoriamente corroborada por la psicología, aunque hay que dejar hueco a un pequeño componente casual ("ruido"), sobre todo porque hoy sabemos que ese componente afecta incluso al aparato registrador más perfecto. La teoría causal de la percepción presupone a su vez la hipótesis filosófica (ontológica) de que hay hechos objetivos, de que estos hechos son ontológicamente previos a los hechos experienciales, y de que todo fenómeno es un hecho que aparece a un sujeto. Según eso, los fenómenos son lo primario por lo que hace al conocimiento, pero no ontológicamente: tenemos que partir de los fenómenos y las ideas si deseamos saber algo acerca del mundo eterno, pero la realidad es autosuficiente y es el objeto de nuestra investigación. Consideramos que esta tesis está a la vez presupuesta y corroborada por la investigación científica. Baste con mencionar dos apoyos científicos de la hipótesis de la primacía del hecho objetivo sobre el fenómeno. Primero: una de las enseñanzas epistemológicas de la teoría de la relatividad es que las leyes de los hechos son absolutas (o sea, independientes de todo marco de referencia, y particularmente de todo observador), mientras que los hechos observables (fenómenos) son relativos al marco de referencia adoptado en cada caso. (Cf. sec. 6.5.) Segundo: nunca buscamos leyes de los fenómenos, porque no hay tales leyes: la apariencia no tiene estructura; el flujo de la experiencia constituye una serie temporal al azar; por tanto, los esquemas o estructuras se buscan y encuentran más allá de la apariencia, en una realidad que se supone allí, pero tiene que afirmarse por hipótesis, puesto que no puede percibirse directamente. Dicho de otro modo: la ciencia misma ha destronado los fenómenos e instalado en su lugar los hechos objetivos, generalmente imperceptibles, y sus estructuras invisibles. Los fenómenos son ontológicamente derivados, por muy primarios que sean epistemológicamente como suministradores de los problemas y de la evidencia. La observación es, pues, una puerta grande hacia el hecho y la ley, los objetos de la investigación científica. Por eso el concepto de observación no puede considerarse como un concepto primitivo a base del cual deba dilucidarse todo lo demás: por el contrario, la observación debe analizarse como proceso complejo que tiene lugar en todos los niveles atravesados por el hombre.

Nuestra tarea inmediata será el análisis algo más detallado de la observación indirecta.

Problemas

12.2.1. ¿Observan y describen los científicos la totalidad de lo dado? ¿Y se preocupan los historiadores por recoger todo documento e intentar reconstruir cada momento del pasado? *Problema en lugar de ése*: Comentar las siguientes tesis de Macaulay sobre el trabajo del historiador. (*i*) El

historiador "tiene que ser un razonador ingenioso y profundo. Pero tiene que poseer el suficiente autodominio para abstenerse de empotrar violentamente los hechos en el molde de sus hipótesis". (*ii*) La historia tiene que ser verdadera, pero selectivamente verdadera, y no enteramente verdadera: "No puede ser perfecta y absolutamente verdadera; porque para serlo, tendría que recoger *todos* los detalles minúsculos de las más minúsculas relaciones e interacciones, todas las cosas hechas y todas las palabras usadas durante el periodo que estudia", lo cual es prácticamente imposible. (*iii*) "El historiador deficiente en el arte de la selección puede, sin mostrar más que la verdad, producir todos los efectos de la mayor falsedad". Cf. *Miscellaneous Works of Lord Macaulay*, ed. por Lady Macaulay, Nueva York, Harper & Brothers, s. a., pp. 154, 161 y 162, respectivamente.

12.2.2. Examinar las opiniones de R. Avenarius y E. Mach según las cuales (*i*) la percepción no lo es *de* nada, y (*ii*) las cosas son complejos más o menos estables de sensaciones. (Esta última caracterización del concepto "cosa" procede de Berkeley y la adoptaron J. S. Mill y R. Carnap.)

12.2.3. Las únicas magnitudes directamente medibles en astronomía son el brillo de las estrellas y el ángulo subtendido en el telescopio por dos objetos celestes. Todas las demás magnitudes, particularmente las distancias y las masas, se infieren con la ayuda de teorías y de los datos angulares indicados. ¿Puede entonces la astronomía considerarse como una *ciencia de observación*?

12.2.4. Observar las fascinadoras fotografías de átomos tomadas con el microscopio iónico de campo, E. W. Müller, *Journal of Applied Physics*, *28*, 1, 1957, y reflexionar acerca de las "demostraciones" de que los átomos son por principio inobservables. *Problema en lugar de ése*: Analizar la cámara fotográfica adaptada a un telescopio como un observador por poder.

12.2.5. Considerar los siguientes casos de inobservabilidad de principio. (*i*) Presumiblemente se están formando en este momento estrellas y enteras galaxias muy distantes, las cuales no se encuentran aún en interacción con nuestro planeta; la luz y el campo gravitatorio que están emitiendo nos alcanzarán, si llegan a alcanzarnos, en un remoto futuro. (*ii*) Es lógicamente posible que existan otros universos que sean auto-contenidos, o sea, sin interacción con el nuestro. Examinar las dos conjeturas respecto de su contrastabilidad y respecto de su fundamentación.

12.2.6. ¿Existe algún procedimiento de observación a prueba de cualquier inseguridad y por el cual pueda garantizarse información empírica con certeza completa? En caso de que no exista tal procedimiento de observación libre de errores, ¿sería posible proyectar uno? ¿O sería más razonable perfeccionar los procedimientos corrientes para compensar y corregir los errores de observación. Cf. G. Ryle, *The Concept of Mind*, Londres, Hutchinson, 1949, p. 238. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema de la alteración del objeto observado por obra del propio proceso de observación, como ocurrió con los mitocondrios, que quedaban destruidos por los fijadores más corrientes, los cuales son ricos en ácido acético. ¿Es posible evitar esas alteraciones?

12.2.7. Alrededor de 1950 hubo algunas observaciones astronómicas que parecían refutar las predicciones basadas en algunos modelos relativistas del universo. Se abandonaron entonces esos modelos en favor de otras teorías concurrentes, sobre todo la del estado constante, o teoría de la creación continua. Más tarde se mostró que aquellas observaciones eran incorrectas, y de nuevo gozó de favor la cosmología relativista. Inferir de esa historia alguna enseñanza más o menos como lo haría la duquesa de *Alicia en el País de las Maravillas*.

12.2.8. La especulación acerca de la existencia de vida extraterrestre se considera frecuentemente como una fabulación de ficción científica porque no existen datos de observación directa acerca de sistemas planetarios distintos del nuestro. Las únicas indicaciones son hasta el momento ciertas teorías sobre la formación de los astros, así como las anomalías del movimiento de algunos cuerpos celestes. ¿Condena esa pobreza de datos la "exobiología"? Cf. G. G. Simpson, *This View of Life: The World of an Evolutionist*, Nueva York, Harcourt, Brace & World, 1964, cap. 13.

12.2.9. Examinar la argumentación según la cual el intento de mostrar la fiabilidad de la observación es por fuerza viciosamente circular, porque una decisión relativa a informes

observacionales no puede fundarse más que en otros informes de la misma naturaleza. Cf. H. Mehlberg, *The Reach of Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1958, p. 92.

12.2.10. Visitar un laboratorio de física nuclear y preguntar a cualquier miembro del equipo qué está observando. Luego intentar situar su respuesta en una epistemología fenomenista. Indicación: y no perder mucho tiempo si eso resulta imposible. *Problema en lugar de ése*: La mayor porción de la observación microscópica supone la producción de cambios en el objeto observado, de tal modo que, en última instancia, lo observado es cosa diferente. ¿Cómo puede, sin embargo, inferirse algo acerca del observandum inicial? ¿Y qué cambios se han introducido por la invención del microscopio por contraste de fase, el microscopio electrónico de barrido, la cromatografía o la visualización de procesos cerebrales por resonancia magnética (FMRI)?

12.3. INDICADOR

La mayoría de los hechos acerca de los cuales sabemos algo no son observables sino de modo vicario, o sea, que no pueden sino inferirse a través de la mediación de hechos perceptibles y por medio de hipótesis. Así, por ejemplo, el viento no es directamente observable, sino inferido a partir de cuerpos de control que se suponen movidos por él, o bien sintiendo su presión en nuestro cuerpo: en cualquier caso conjeturamos la existencia de una ráfaga de viento y, si nos interesa una estimación más cuidadosa de nuestra suposición, tenemos que someterla a prueba, porque nuestra inferencia puede haber sido infundada (los movimientos observados pueden deberse a un terremoto o a la embriaguez del observador). Análogamente, cuando vemos ruborizarse a alguien atribuimos el hecho a su vergüenza, turbación o cólera, según las circunstancias concomitantes del hecho (información adicional) y nuestro conocimiento de la psicología. Y formulamos la hipótesis de que está teniendo lugar un acaecimiento social cuando vemos que unos tanques rodean edificios públicos y que la gente corre por las calles.

En todos esos casos aducidos como ejemplos lo que hacemos es *objetivar* un hecho inobservable sentando su relación según leyes con algún hecho perceptible (o conjunto de hechos perceptibles) que sirven como *indicador* del primero. Dicho de otro modo: hacemos hipótesis sobre hechos no-percibidos y los contrastamos por medio de evidencia que consiste en datos acerca de hechos directamente observables, partiendo de la suposición de que estos últimos son concomitantes de o efectos de los primeros. La afirmación o supuesto de que efectivamente se cumple esa relación legal entre los observables y los inobservables es, naturalmente, una *hipótesis*, aunque, suele decirse que es una *definición operativa* u operacional. La fig. 12.2 resume lo dicho hasta aquí.

Lo anterior puede precisarse con la ayuda del concepto de función. Sea U un miembro de un conjunto de valores posibles de una propiedad inobservable, como la presión atmosférica, y O un miembro de un conjunto de valores de una propiedad directamente observable, como la altura de una columna barométrica. Supongamos, además, que hay una teoría que afirma una relación funcional F entre los valores O y los valores U: $O = F(U)$. Entonces, invirtiendo esta relación y midiendo O, podemos inferir los correspondientes valores de U. En la fórmula "$O = F(U)$" tanto U cuanto O son conceptos teoréticos, pero O representa una propiedad directamente observable. Y la relación misma es una hipóte-

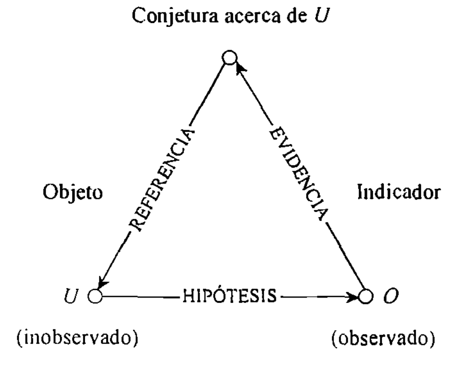


FIGURA 12.2. La relación objeto-indicador que es una relación física, se expresa por una hipótesis que nos permite inferir el objeto a partir de observaciones hechas sobre su indicador.

sis que tiene que fundamentarse y confirmarse de algún modo. En el caso del viento, *O* puede ser la velocidad angular medible del anemómetro, y *U* la inobservable velocidad del viento. En el caso de la evolución biológica, *O* puede ser el grado de semejanza anatómica entre dos especies, y *U* el correspondiente grado de afinidad específica. Y en el caso de una rata sometida a condicionamiento instrumental, *O* puede ser el número de presiones por minuto ejecutadas por el animal en una barra, y *U* la intensidad de un impulso, por ejemplo, el apetito de agua azucarada. Si *O* es un concepto cuantitativo (una magnitud), se le llama *medida* de *U*, que no hay que confundir con la idea de *medición* de *U*.

Cuando un científico sostiene que ha descubierto un nuevo "efecto", se espera de él que presente evidencias en favor del mismo, esto es, que ofrezca información en apoyo de su afirmación que, si es que tiene interés, se referirá a inobservables. Ahora bien, las evidencias pueden ser directas o indirectas, tanto en sentido lógico cuanto en sentido epistemológico. Una *evidencia lógicamente directa* sobre una proposición es un dato que puede compararse con dicha proposición, o con un caso o ejemplo de ella si es general. Así, por ejemplo, toda nueva medición de la velocidad de la luz da evidencia directa en favor o en contra de los valores previamente hallados y también es una evidencia en favor de la hipótesis general de que la velocidad de la luz es un absoluto.

Una *evidencia lógicamente indirecta* en favor de una proposición es una evidencia que coincide con ella sin ser comparable con ella. (Dicho de otro modo, las evidencias indirectas no están extensionalmente relacionadas con las correspondientes hipótesis, a menos que se añadan enunciados complementarios. En particular, su extensión lógica no está contenida en la extensión de la hipótesis: no son casos o ejemplos de sustitución de esta última. Por ejemplo, la anatomía comparada, la fisiología y la embriología suministran evidencia indirecta ("colateral") en favor de la hipótesis de que el hombre desciende de ciertos primates antropoides. Sólo la reconstrucción hipotética de alguno de esos primates antropoides, sobre la base de unos pocos huesos conservados, suministra una evidencia lógicamente directa en apoyo de la hipótesis.

La evidencia indirecta es mucho más importante en la ciencia que la evidencia directa: la evidencia directa no sirve más que para apoyar o destruir generalizaciones empíricas de nivel bajo, y éstas son más típicas del conocimiento ordinario que de la ciencia progresada. De hecho, no hay evidencia lógicamente directa que pueda sostener o refutar los axiomas de una teoría: hay que explicitar los consecuentes de nivel bajo que tienen

los axiomas y compararlos con datos empíricos. Aún más: toda evidencia a la que se recurre para convalidar o invalidar una teoría propiamente dicha es no sólo lógicamente colateral, sino incluso *gnoseológicamente indirecta*, en el sentido de que las hipótesis trasempíricas no pueden contrastarse más que por el procedimiento de someter a prueba sus consecuencias observacionales. Consiguientemente, la evidencia relevante para una teoría será diferente del referente de la teoría: en otro caso la teoría no estudiaría objetos trasempíricos. Por ejemplo, la evidencia relevante para la filogenética no es filogenética, porque no podemos observar las mutaciones, adaptaciones y otros procesos que determinan las características de la descendencia: todos nuestros datos son pobres documentos, como unos cuantos huesos viejos, a partir de los cuales se "infieren" conclusiones hipotéticas. En resolución: los axiomas de las teorías científicas, a diferencia de la evidencia empírica relevante para ellos, no se refieren directamente a hechos observables. Por tanto, hay que arbitrar los apropiados síntomas o indicadores, lo cual suscita todo un haz de problemas metodológicos.

Las ropas que viste un hombre, el automóvil (o el asno) que le lleva, y sus maneras de manifestarse pertenecen a una constelación de indicadores objetivos del estatus social, que es en sí mismo inobservable. Por eso, dada la hipótesis "c pertenece a la clase R en la jerarquía social dominante en su sociedad", podemos contrastarla mediante la observación de ciertas propiedades del individuo c: esos datos se usarán como evidencia relevante para nuestra hipótesis porque aceptamos ciertas generalizaciones referentes a la relación entre los indicadores (mal llamados "símbolos del estatus") y el status social. En la ciencia, esas relaciones entre indicadores y los correspondientes inobservables son (*i*) *postuladas* por la teoría, y (*ii*) *sometidas a prueba de modo independiente* en la medida de lo posible. Por ejemplo, la identificación de un animal como miembro de una especie dada, o la inclusión de una especie en un género, se hacen sobre la base de haces de indicadores de una media docena de clases diferentes: anatómicos, fisiológicos, bioquímicos, ecológicos, biogeográficos y etológicos. Los rasgos anatómicos son los más fáciles de observar, y, prácticamente, los únicos disponibles en el caso de los fósiles; pero los otros se están haciendo cada vez más de fiar a medida que se van conociendo más cosas sobre ellos. En cualquier caso, todos suministran evidencia para fines de identificación y clasificación sobre la base de ciertos enunciados de leyes, como "Cada especie tiene su propio nicho ecológico". (Dicho sea de paso, la propiedad de pertenecer a una especie animal puede considerarse como una macropropiedad incluso en el caso de los microorganismos. Es interesante observar que algunos de los indicadores taxonómicos, como los histológicos y los bioquímicos, son micropropiedades frecuentemente inobservables en la práctica. Esto vale para refutar la idea de que sólo las micropropiedades requieren indicadores y que estos últimos tienen que ser siempre macropropiedades.)

Tomemos, como otra ilustración más, la objetificación de los sueños. Los sueños no se sometieron a estudio científico hasta que se arbitraron indicadores objetivos de los mismos: antes de eso, desde los antiguos egipcios hasta el psicoanálisis, los sueños eran tema de interpretación arbitraria especulativa. Dos indicadores objetivos del proceso del sueño son los movimientos rápidos de los ojos, detectados por medio de electrodos muy sensibles colocados en los párpados, y las perturbaciones de las ondas cerebrales recogidas por el electroencefalógrafo. Esas técnicas de recolección de datos permiten al inves-

tigador establecer si el sujeto está efectivamente durmiendo, pero no revelan así el contenido del sueño, su argumento. Sin embargo, no hay fundamento suficiente para negar que un día también este último pueda objetificarse. En cualquier circunstancia, e igual que en el caso del detector de neutrones o el de mentiras, los futuros detectores de sueños se proyectarán con base en ciertas hipótesis, y acaso teorías, que establezcan ciertas relaciones definidas entre hechos inobservables y observables, relaciones de la forma "$U = F(O)$". Pues ésa es, dicho sea de paso, una de las funciones y uno de los logros de las teorías científicas: lanzar un puente por sobre el abismo que se hunde entre los observables y los inobservables, por el procedimiento de hacer que alguno de los últimos resulte indirectamente observable o, más bien, objetificable.

Cuando la relación postulada entre la variable inobservable U y su manifestación observable O no está de algún modo *justificada por una teoría* ni es *independientemente contrastable*, la afirmación de que un determinado U queda de hecho objetificado por un determinado O es poco más que una ocurrencia o un dogma. Tal es, desgraciadamente, el caso de la mayoría de los tests psicológicos usados por la psicología clínica en el momento de escribir estas líneas: se sostiene que esos tests objetifican ciertas funciones mentales y ciertos rasgos de la personalidad, pero rara vez se contrastan de un modo independiente, por no hablar ya de incorporarlos a una teoría capaz de explicar cómo trabajan y por qué. (Cf. sec. 11.3.) En el mejor de los casos esos tests estarán justificados empíricamente. Así, por ejemplo, los tests de inteligencia están justificados por estudios prolongados del rendimiento escolar de los sujetos, pero, como es natural, nadie puede estar seguro en este caso de medir originalidad, memoria, tenacidad o alguna combinación de todos esos rasgos.

Las relaciones indicador-indicado, de la forma "$U = F(O)$", no son arbitrarias, como sostiene el operativismo. El operativista, ansioso de evitar toda metafísica, tiende a considerar toda relación de objetificación (o relación objeto-indicador) como una definición. Por ejemplo, cuando postula que el hambre puede medirse por el tiempo de privación de alimentos, sostiene que la construcción hipotética "hambre" queda *eliminada* con esa interpretación, y sustituida por una variable medible ("tiempo" –de privación de alimentos). Pero esa actitud es conceptualmente falsa, pues no toda relación entre variables constituye una definición (cf. sec. 3.6). Y también es falsa empíricamente, porque la particular relación (una relación lineal) entre el hambre y el tiempo de privación de alimentos, relación que se acaba de mencionar, es una gran simplificación que no puede tomarse sino como aproximación grosera y mientras no se tengan índices más fiables del hambre (por ejemplo, índices fisiológicos). Considerar las hipótesis objeto-indicador como meras convenciones, como decisiones que no necesitan ni teorización ni puesta a prueba empírica e independiente, es tan peligroso como sostener que se poseen facultades únicas (por ejemplo, de vidente) o instrumentos (la esfera de cristal, por ejemplo) para penetrar en lo no visto.

Ahora que hemos echado un vistazo al objeto y a los medios de la observación podemos examinar el resultado final de dicha operación.

Problemas

12.3.1. Mencionar acciones que exterioricen sentimientos y pensamientos, y que puedan, por tanto, utilizarse para "leer" estos últimos. *Problema en lugar de ése*: Algunos locos aprenden a comportarse normalmente para evitar su internamiento. ¿Hay medios para detectar su oculta anomalía? ¿Y qué relevancia tiene este hecho para el conductivismo?

12.3.2. Examinar cómo se supone que funciona cada uno de los instrumentos siguientes. (*i*) El voltímetro (para objetificar las intensidades del campo eléctrico). (*ii*) El electroencefalógrafo (para detectar lesiones cerebrales). (*iii*) Los detectores de mentiras.

12.3.3. Analizar la técnica fotogramétrica, en particular en su aplicación para inferir las condiciones del suelo (e incluso huellas grandes dejadas por asentamientos humanos) a base de fotogramas aéreos. *Problema en lugar de ése*: Examinar algunas técnicas de visualización de procesos mentales, tales como la tomografía por emisión de positrones (PET) y la resonancia magnética (MRI).

12.3.4. Analizar un puñado de indicadores económicos (tales como el PIB) y sociales (tales como el índice de Gini). *Problema en lugar de ése*: Analizar la técnica de la fotoelasticidad para visualizar tensiones internas en materiales.

12.3.5. Discutir los méritos y deméritos, por lo que hace a la sensibilidad y a la fiabilidad, de los varios indicadores del pensamiento: el habla, la escritura, los electroencefalogramas, el potencial de acción del labio superior, etc. *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema general de la justificación (convalidación) de indicadores o medidas en psicología.

12.3.6. El objetivador o índice no debe reaccionar de un modo importante sobre el acaecimiento o proceso a cuya manifestación sirve. Por ejemplo, si un aparato de medición se conecta con un sistema, no debe consumir sino una fracción muy pequeña de la energía de éste. ¿Por qué? ¿Se observa esa precaución por los psicólogos que usan la introspección indirecta, por ejemplo, cuando intentan aclarar el pensamiento resolutor de problemas pidiendo al sujeto que verbalice (esto es, que dé concreta expresión verbal) los varios pasos de las estrategias que ha escogido?

12.3.7. Los animales sometidos a severas tensiones, cansancio o desgaste presentan los órganos internos considerablemente ampliados y deformados. Examinar esos indicadores anatómicos de la tensión. Cf. H. Selye, *The Stress of Life*, Nueva York, McGraw-Hill, 1956.

12.3.8. Algunos estados individuales, como el de dolor, son intransferibles, privados. ¿Se sigue de ello que no puedan objetificarse y tengan, por consiguiente, que permanecer fuera del alcance de la ciencia? ¿Prestan atención los fisiólogos y los psicólogos a esa pretensión de algunos filósofos del espíritu, o excogitan más bien modos de objetificar esos estados internos, y de poner a prueba, de un modo independiente, los informes sobre ellos? *Problema en lugar de ése*: Supongamos que los estados mentales no fueran solamente privados (intransferibles, incompartibles), sino, además, ocultos (inescrutables) y, por tanto, incognoscibles desde fuera. En ese caso, si alguien dijera 'Sufro un dolor', no estaría expresando una proposición, pues las proposiciones tienen que ser verdaderas o falsas, mientras que la anterior expresión no sería más que un lamento, poco más que un grito. ¿Cuál es el elemento erróneo que contiene la doctrina que hace del dolor y el placer meros gritos?

12.3.9. Considerar los enunciados de evidencia que apoyan o falsan las hipótesis: "Hoy hace mucha humedad", "Estaba orgulloso de sus hijos", y "Este país está estancado". ¿Contienen los enunciados de evidencia las instrucciones teoréticas que se presentan en las hipótesis? ¿Qué clase de evidencia son? ¿Y cómo podríamos justificar la pretensión de que son piezas de evidencia? ¿O podemos permitirnos el lujo de ignorar esta cuestión?

12.3.10. Examinar los siguientes enunciados: (*i*) "Los termómetros registran las variaciones de temperatura". (*ii*) "Los termómetros registran las variaciones de temperatura de los sistemas a

los que se adhieren". (*iii*) "Los termómetros causan cambios de temperatura en su entorno". (*iv*) "Las lecturas termométricas y las temperaturas del entorno resultan ser aproximadamente coincidentes" (*v*) "Los termómetros producen estados térmicos". (*vi*) "Los termómetros definen el concepto de temperatura". *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema general de la relación entre propiedades trasempíricas y sus manifestaciones observables. Indicación: Evitar la confusión corriente entre los conceptos "disposicional" e "inobservable".

12.4. DATOS Y EVIDENCIA

Las ideas que expresan el resultado de una fase de observaciones son un conjunto de datos. Un dato es una proposición singular o existencial como, por ejemplo: "Se inyectó a la rata # 13 1 mg de nicotina el primer día." Supongamos que ponemos la rata # 13 bajo observación y que descubrimos que ha desarrollado un cáncer de pulmón. Podemos entonces formular el siguiente informe de observación: "La rata # 13 desarrolló un cáncer de pulmón unos 20 días después de administrársele una dosis de 1 mg de nicotina." Llamaremos también a eso dato, aunque no se ha derivado de la observación directa: esa proposición ha requerido, en efecto, la previa disección del animal y un análisis microscópico de sus tejidos pulmonares. El cáncer de pulmón puede haberse conjeturado a partir de ciertos síntomas perceptibles, pero esa hipótesis se contrastó en cualquier caso luego con la ayuda del microscopio y de un cuerpo de conocimiento relativo a las células cancerosas. Incluso el dato inicial sobre la inyección de nicotina suponía ya algún conocimiento que rebasaba la experiencia inmediata: el experimentador no decía que hubiera inyectado una porción del contenido de una ampolla con la etiqueta 'Nicotina', sino que cargaba con el riesgo de suponer que la etiqueta estaba correctamente puesta, supuesto que habría podido refutarse por un análisis químico. Si el experimentador hubiera escrito: 'Llené una jeringuilla con una solución de algo que parecía nicotina, luego cogí lo que me pareció ser la rata # 13 y le inserté con asco lo que me pareció ser la aguja', habría retratado un fragmento de su flujo privado experiencial; pero entonces nadie –salvo, acaso, su psiquiatra– se habría interesado por su informe, el cual sin duda habría sido un dato, pero desde luego no un dato científico.

Hay varias razones para no considerar datos científicos los informes sobre la experiencia privada. Primero, porque se supone que el experimentador informa acerca de hechos objetivos (*referencia objetiva*). Segundo, porque sus experiencias personales son irrelevantes para esos hechos objetivos. (Pueden ser de interés para la psicología en la medida en que puedan relacionarse con y controlarse por hechos objetivos del comportamiento o de acaecimientos fisiológicos.) Tercero, porque se supone que sus informes han de ser controlables por sus colegas (*publicidad, control público*), mientras que sus experiencias personales no son fáciles de poner a prueba. Cuarto, porque se supone que los datos del científico van cargados de interpretación (cf. sec. 12.2) y hasta que están formulados, en parte al menos, en un lenguaje teorético (cf. sec. 8.4). Si no se exigiera de los datos científicos una referencia objetiva, un control público y un mínimo de interpretación a base de teorías aceptadas, podrían inventarse arbitrariamente y serían irrelevan-

tes para las ideas que se supone sostienen o arruinan. Consiguientemente, los llamados *datos sensibles* no son datos científicos. Las percepciones puras (si es que eso existe) no son los sillares de la ciencia, sino un problema propiamente psicológico: la ciencia –con la psicología incluida– empieza con las interrogaciones del especialista y con la formulación de conjeturas, no por la sensibilidad. Dicho con pocas palabras: la ciencia se interesa por datos *impersonales* que se refieren a hechos *objetivos* (aunque acaso hipotéticos) y, además, por mayor exigencia, sólo por aquellos que puedan "tener sentido" en algún cuerpo de conocimiento; lo que quiere decir, aún más condensadamente, que la ciencia sólo se interesa por datos *sistematizables*.

Otra peculiaridad de los datos científicos es que, pese a la etimología de la palabra 'dato', no son nada dado, sino que hay que producirlos, y muchas veces laboriosamente. Los objetos físicos de cierta clase –los cuerpos perceptibles y algunos de sus cambios– se nos dan como tales, esto es, como objetos físicos. Así, por ejemplo, son perceptibles las ondas sonoras de determinadas características, pero no se perciben *como ondas*: la naturaleza ondulatoria del sonido es una hipótesis y, por tanto, los datos referentes a longitud y amplitud de una onda sonora no expresan hechos de experiencia (fenómenos). Como *objetos de conocimiento*, los objetos físicos se reconstruyen como resultado del trabajo humano y sobre la base de (*i*) su apariencia, (*ii*) su manipulación por nosotros y (*iii*) nuestra invención y subsiguiente contrastación de modelos de los mismos. (El fenomenismo ha subrayado el primer aspecto; el pragmatismo ha exagerado el segundo, y el idealismo la primera parte del tercero: cada una de esas filosofías se ha limitado a ver una parte de la entera verdad.) Los objetos del conocimiento no se sitúan gratuitamente y ya confeccionados en nuestros sentidos o en nuestra inteligencia, sino que son productos constructivos de unos y otra, y los datos son a la vez el resultado y el material en bruto de esa construcción.

Con eso no queremos negar la existencia de hechos objetivos. Los hechos –al menos la mayoría de ellos– existen por sí mismos. Pero para apresarlos, para convertirlos en objetos del conocimiento, el científico puede verse obligado a usar medios muy retorcidos, todos los cuales suponen el uso de ideas a cuyo respecto no puede (o no debería) estar completamente seguro. Consideremos al físico que desea estudiar el comportamiento de los electrones en un metal, o al historiador que se propone reconstruir el comportamiento de los sumerios. Ninguno de esos hechos, esquemas o estructuras, es accesible a los sentidos: todo lo que hay es un conjunto de datos (información física, documentos históricos) que, si se sitúan sobre el fondo del conocimiento especializado, pueden sugerir (psicológica, no lógicamente) ciertas hipótesis que es necesario contrastar buscando más datos. Estos otros datos, una vez producidos ("recogidos"), serán evidencia en favor o en contra de la hipótesis en cuestión. (Obsérvese que el método del físico es el mismo del historiador; difieren sólo por la especial técnica usada por cada uno para producir datos y por la potencia de sus modelos teoréticos.)

Los empiristas, como Bacon y Comte, y los intuicionistas, como Bergson y Husserl, han postulado la recolección de datos sin previa formulación de hipótesis o supuestos: de este modo se recogerían datos "puros" y "duros", sobre los cuales no habrían desteñido las ideas y que, por esa razón, serían de completa garantía. Pero el hecho es que nadie se pone a buscar nada –datos, en este caso– sin tener presente un abanico de posibilidades

sobre las propiedades de lo que está buscando. Hasta los animales subhumanos buscan en base a un trasfondo de expectativas. Si no fuera así, (*i*) no se reconocería la cosa buscada al encontrarla (lo que quiere decir que no se encontraría nunca), y (*ii*) no sabríamos cómo practicar esa operación de búsqueda. Cuanto más ignora uno el aspecto del objeto buscado, tanto más tiene que ejercitar la imaginación; y cuanto más sabe uno acerca de dicho objeto, de tantas más hipótesis dispone en principio para orientar la búsqueda. Tomemos como ejemplo la búsqueda radioastronómica de señales de posibles civilizaciones extraterrestres: nadie habría sabido lo que había que buscar si no se hubieran formulado supuestos determinados respecto de seres extraterrestres inteligentes, capaces de comunicarse en todo caso mediante señales de radio (primera consecuencia para la búsqueda: usar radiotelescopios), respecto del hecho de que esos seres pueden estar en gravitación alrededor de cualquier estrella (segunda consecuencia: registrar todo el cielo), etcétera. Es claro que esos supuestos pueden ser falsos; pero si no se formularan, no tendríamos ni esperanza de producir alguna vez evidencia empírica respecto de seres racionales extraterrestres.

Toda evidencia es un dato, pero no todo dato es una *evidencia.* El carácter evidencial de un dato no es una propiedad intrínseca suya. Son evidencias los datos que son relevantes para alguna idea. Por ejemplo: la teoría atómica nos lleva a sospechar que las partículas cargadas que atraviesan una placa fotográfica pueden dejar una huella en ella. Si efectivamente hallamos tales trazas en el examen microscópico, las interpretamos como efectos producidos por partículas cargadas, y así obtenemos evidencia de una nueva clase en favor de la teoría atómica. Esta teoría predice, pues, su propia evidencia, una evidencia, incluso, que no puede dar apoyo a las teorías de la materia como continuo. Análogamente se interpreta un fósil como resto de un organismo extinguido y, por añadidura, como resto de un organismo extinguido perteneciente con probabilidad a una especie extinguida: esta interpretación se hace a base de la teoría de la evolución. A su vez, consideramos todo hallazgo de fósiles como relevante para la teoría de la evolución. Admitimos que un dato constituye una evidencia en favor de una teoría y atribuimos entonces credibilidad a ésta porque ella explica o hasta predice esa evidencia. (Sin duda esa situación constituye un círculo: convalidamos el dato por la teoría y la teoría por el dato, lo cual es como si un acusado designara él mismo a su juez. *La confirmación empírica es circular* (cf. segundo problema 8.4.10), razón por la cual no tiene valor por sí misma. Cuando una teoría no se confirma más que por la clase de evidencia que ella misma sugiere, esa confirmación carece de valor. Para tener algún peso, la confirmación empírica tiene que complementarse con la satisfacción de otras condiciones más, principalmente la continua incompatibilidad de la teoría con el cuerpo o torso de la ciencia. Es perfectamente posible idear un montón de teorías acerca de los fantasmas y confirmarlas empíricamente con declaraciones de psicóticos, charlatanes y hasta científicos jubilados: pero es imposible hacer cuadrar esas teorías con el resto de la ciencia.

"Evidencia" es, pues, un concepto complejo: tiene que ponerse en relación con las particulares hipótesis para las cuales es relevante, y con el trasfondo de conocimiento –que es a menudo un conjunto de fragmentos de teorías– T en base al cual sostenemos que el dato es una evidencia relevante para la hipótesis. Por tanto, la expresión 'El dato e es una evidencia relevante para la hipótesis h' es una expresión incompleta. Debería sustituirse

por esta otra: 'En base a la teoría –o fondo de conocimiento– T, el dato e es una evidencia relevante para la hipótesis h'. El concepto de evidencia tiene, pues, la estructura de una relación triádica o ternaria. Dicho de otro modo: toda evidencia es relativa a alguna hipótesis en virtud de un cuerpo de conocimiento teorético: ninguna evidencia es absoluta y ninguna evidencia es anterior a toda teoría. Por ejemplo: la desviación observada de una aguja magnética en la proximidad de un circuito eléctrico (dato e) favorece la hipótesis h_1 de que la electricidad está fluyendo por el circuito, pero lo hace en base a la teoría T_1 según la cual las corrientes eléctricas producen campos magnéticos que entran a su vez en interacción con los campos de las agujas magnéticas. Pero ese mismo dato e favorece como evidencia la hipótesis, rival de la anterior, h_2 que dijera que se ha colocado cerca algún gran imán, y ese apoyo se basaría en la teoría T_2 que enseña que los imanes pueden entrar en interacción unos con otros. (Cf. fig. 12.3.)

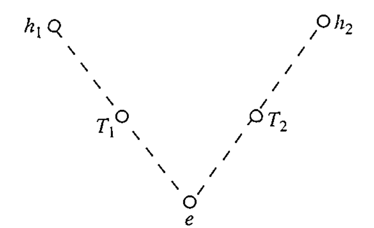


FIGURA 12.3. La relatividad de los datos: un mismo dato apunta ambiguamente a dos hipótesis diferentes a través de dos teorías diferentes.

El dato en cuestión es, pues, *ambiguo*, y sólo mediante una *comprobación independiente* de h_1 y h_2 –o sea, mediante una contrastación independiente de e– podremos llegar a una decisión entre las dos hipótesis rivales, al menos de un modo que nos satisfaga provisionalmente. O sea: hará falta nueva evidencia para estimar la anterior. Ningún dato, pues, es por sí mismo una evidencia, sino que puede *convertirse en una evidencia* una vez interpretado con la ayuda de alguna teoría, y con la misma facilidad puede ser destronado de su estatus, arrastrado por el hundimiento de la teoría misma.

Antes de llevar a cabo una observación con la finalidad de producir evidencia, hay que decir qué *clase* de datos se considerarán como evidencias. De no hacerlo así se abrirá camino a intentos deshonestos de salvar teorías ineptas, así como observaciones y controversias estériles. Por ejemplo: un psicólogo científico no aceptará, como evidencia en favor de una teoría, informes puramente introspectivos que son, naturalmente, incontrolables, como no sea para formular preguntas e inventar hipótesis que puedan luego contrastarse por medio de datos objetivos. Adoptemos, pues, la siguiente *Regla*: La clase de datos que deben contar como evidencia tiene que precisarse por anticipado, antes de la observación y sobre la base de la teoría. No hace falta decir que tanto los datos cuanto la teoría tienen que ser científicos para que la evidencia sea aceptable. Por esta razón los datos que se presentan como evidencia en favor de la hipótesis del conocimiento profético son inaceptables: ni los datos son científicos (de acuerdo con los criterios sentados al principio de esta sección) ni es científica la hipótesis (de acuerdo con los requisitos establecidos en la sec. 5.7). Siempre que un científico obtiene datos que parecen incompatibles con una teoría bien corroborada intenta *reproducir* esos datos, en vez de anular

alegremente datos o teoría. Si resulta imposible reproducir los datos, entonces el científico los dará de lado, por sospechosos de error sistemático. Y en cualquier caso, se repitan los datos o no, el científico intentará *explicar* la anomalía –legalizarla– aplicándole hipótesis o teorías, o construyendo las necesarias, que puedan contrastarse independientemente, o sea, que puedan compararse con datos distintos de los anómalos. Una de las dificultades de los supuestos datos anómalos de los parapsicólogos es que éstos no disponen de teoría alguna para explicarlos: por eso los parapsicólogos no saben cómo sistematizar esos datos ni qué valor tienen. Los datos de la parapsicología no son datos empíricos, y menos aún evidencias, porque no hay en la parapsicología nada preciso para someter a contrastación, ninguna plena hipótesis o teoría. Y cuando no hay teoría, no puede haber evidencia relevante para ella.

¿Existen *datos últimos*, esto es, proposiciones singulares o existenciales que no necesiten apoyo empírico ni teorético? Algunas escuelas filosóficas, señaladamente el fenomenismo y el intuicionismo, han afirmado que ciertos enunciados factuales se sostienen por sí mismos, ya porque son expresión directa de datos sensibles (supuestamente irrectificables), ya porque son autoevidentes (evidentemente verdaderos). Así se dice, por ejemplo, que un enunciado de observación como 'Esto es verde' es un dato último de dicha especie: sería según ese punto de vista una proposición singular auto-suficiente (sin necesidad de ningún trasfondo de conocimiento) y definitivo (irrectificable, incorregible). Pero la psicología enseña que la percepción del color se aprende y puede ser falsa. Tampoco salen mejor librados los informes acerca de la experiencia interna: no son más ciertos que los informes acerca de hechos objetivos, sino menos interesantes y menos fáciles de contrastar; por tanto, menos sujetos a contrastaciones efectivas. Supongamos que alguien sostiene que ha tenido una experiencia insólita. Otro observador intenta repetir la observación y no consigue confirmar el primer informe. Este segundo observador puede preguntarse si el primero tuvo realmente esa experiencia, o si realmente interpretó bien lo que experimentaba. Incluso puede intentar una refutación del primer informe por razones teoréticas, mostrando que es incompatible con el mejor conocimiento establecido. El primer observador puede seguir sosteniendo que su experiencia fue interna, e incluso que el conocimiento disponible es irrelevante para ella. En este caso será imposible refutar su afirmación por el momento. Y, cosa aún peor, esa afirmación irrefutable se archivará y olvidará en la práctica, porque no sirve a ninguna finalidad científica. Para ser científicos, los datos no tienen que ser irrefutables, sino contrastables, y pueden dejarse en el aire si no los justifica ninguna teoría. En conclusión: la ciencia no conoce datos últimos; no hay sino datos que, en un *determinado estadio* de la investigación, no se analizan ni controlan ulteriormente y se usan como evidencia relevante para ciertas hipótesis y teorías. En un estadio posterior esos mismos datos pueden someterse a examen crítico. Muchas evidencias son *prácticamente concluyentes* por la simple razón de que en algún momento tenemos que tomar decisiones; pero esas decisiones no son arbitrarias, y ninguna evidencia es nunca *concluyente y final en sentido teorético.* Los datos científicos no son más duros ni más permanentes que las hipótesis y las teorías con cuya ayuda se producen, ni que las ideas que ellos sostienen o refutan. Decretar que datos de un determinado tipo son datos últimos sería lo mismo que imponer un dogma peligroso: un dogma que, desde luego, va en contra de la práctica científica.

De hecho, lejos de aceptarse por su valor facial o declarado, los informes de observación se criban con un cedazo teorético. En primer lugar, *se examinan críticamente* en busca de errores de observación. Hay normas de observación que toda disciplina establece con la ayuda de teorías sustantivas, y hay normas de corrección de datos observacionales, las cuales se establecen con teorías sustantivas y, a la vez, con la ayuda de la teoría general de los errores de observación (la cual es una teoría metodológica que se incluye en la estadística matemática). En segundo lugar, los datos se universalizan o *norman* según criterios o estándares generales. Así, por ejemplo, las mediciones de longitud se "reducen" a la temperatura y la presión normales o convencionales, para eliminar las contingentes condiciones locales. Un dato como "La línea roja más brillante del espectro del cadmio medida en Austin, Texas, por el profesor Doe mientras se asesinaba al presidente Kennedy tenía tantos o cuantos angstroms de longitud" es sin duda preciso, pero, por un lado, contiene información redundante y, por otro, no menciona los valores de la temperatura y la presión. El dato *en bruto* puede contener cualquier información, pero el dato *refinado* no tiene que comunicar más que información relevante y de uso universal; esto se consigue podando el dato en bruto y refiriéndolo a una condición normal (convencional), como 15°C y 76 cm de mercurio. Por lo demás, no se trata de maximizar la información empírica, sino de optimizar la precisión y la relevancia de la información universal, de la información que puede ser conseguida por toda persona competente en el correspondiente campo, y también mejorada o corregida. En tercer lugar, siempre que se buscan datos como promedios o dispersiones en torno de promedios –como es el caso en la medición cuantitativa– los datos en bruto tienen que someterse a *reducción*: la información final es en realidad una construcción a partir de los datos en bruto.

Siempre se pierde alguna información en el proceso de examen crítico, normalización y reducción de los datos en bruto. Consiguientemente, dado un conjunto de datos refinados –o sea, de datos elaborados ya a través de un examen crítico, una universalización y una reducción–, no puede recuperarse el conjunto inicial de datos en bruto, que era mucho más considerable: el refinamiento de datos es un proceso irreversible. Es difícil que nadie lamente esa pérdida de información en bruto, porque los datos son medios y no fines: lo que nos interesa es la *sistematización* de datos para descubrir en ellos estructuras, y esto no puede hacerse sin eliminar el "ruido" por el proceso de poda que acabamos de describir (cf. fig. 12.4).

La sistematización de los datos refinados puede hacerse de diversos modos, según la naturaleza de los datos y la finalidad perseguida. Los datos pueden disponerse en gráficos (diagramas, etc.), histogramas (distribuciones), etc. Ninguna de esa técnicas de sistematización sustituirá, desde luego, la teoría: los conjuntos ordenados de datos refinados no son ni más ni menos que alimento para el planteamiento de problemas, la teorización o la estimación de hipótesis y teorías. Pero la función de los datos en el conjunto de la investigación merece una sección propia.

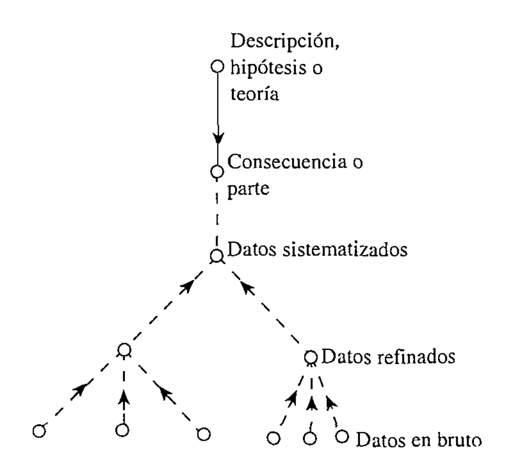


FIGURA 12.4. Los datos se elaboran (refinan) y sistematizan para compararlos con descripciones o teorías.

Problemas

12.4.1. Examinar la influencia de puntos de vista y teorías en la recolección y el uso de los datos antropológicos. Cf. M. J. Herskovits, "Some Problems of Method in Ethnography", en R. F. Spencer (ed.), *Method and Perspective in Anthropology*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 1954.

12.4.2. Estudiar el papel de la teoría en la selección de aspectos a observar, así como en la interpretación de los datos, en el campo de la psicología. Cf. D. O. Hebb, "The role of neurological ideas in psychology", *Journal of Personality*, *20*, 39, 1951.

12.4.3. Un geólogo en trabajo de campo halla unos huesos fósiles y acude a dos paleontólogos. Uno de ellos piensa que los restos pertenecen a un mono, y el otro que son evidencia en favor de la hipótesis de la existencia de un hombre primitivo en esa región. ¿Qué es lo que les hace discrepar, a pesar de que tienen presumiblemente las mismas impresiones sensibles? *Problema en lugar de ése*: Antes de que se descubrieran efectivamente los correspondientes objetos, se dispuso de placas fotográficas que ya "mostraban" desintegraciones nucleares, positrones y el planeta Plutón. Obtener también una enseñanza de método dimanante de ese hecho.

12.4.4. Discutir el llamado *principio de la evidencia total*, según el cual una hipótesis debe juzgarse a la luz de la totalidad de la evidencia disponible. ¿Basta con eso para conceder a la hipótesis un valor aproximadamente justo?

12.4.5. ¿Qué es lo que guía y motiva la observación científica? Cf. A. Szent-György, bioquímico premio Nobel, "Lost in the Twentieth Century", *Annual Review of Biochemistry*, *32*, 7, 1963: "Formulo las teorías más insensatas [¿quiere decir hipótesis?] que relacionan las reacciones en el tubo de ensayo con [las] más generales opiniones filosóficas, pero paso la mayor parte del tiempo en el laboratorio, jugando con la materia viva, abriendo los ojos, observando y persiguiendo el menor detalle [...] la mayor parte de las nuevas observaciones que hice se basaban en teorías equivocadas."

12.4.6. Los subjetivistas, los intuicionistas y los empiristas han afirmado la existencia de experiencia humana pura, o sea, experiencia no afectada por una anterior creencia o expectativa, y han considerado que los informes acerca de esa experiencia pura (proposiciones de protocolo) son

el fundamento intocable e inanalizable, o el punto de partida del conocimiento. La experiencia pura ha recibido varios nombres: Maine de Biran la llamaba "hecho primitivo"; Comte, "hecho positivo"; Mach, "elemento"; Husserl, "hecho puro"; Bergson, "dato inmediato de la conciencia", etc. ¿Existe realmente una experiencia pura (una percepción sin interpretación ni expectativas)? Suponiendo que exista, ¿se considerará como perteneciente a la ciencia? ¿Y se aceptan esos datos en bruto o protocolos como básicos por los científicos, en el sentido de que sirvan como sillares o ladrillos de la construcción científica? *Problema en* lugar *de ése*: Examinar la crítica kantiana de la idea de experiencia pura y mirar si su medicina (la idea de que el entendimiento suministra un marco *a priori* a la experiencia) era mejor que la enfermedad.

12. 4. 7. Averiguar si hay modelos de elección racional, tales como modelos de teorías de juegos en politología, que gozan de soporte empírico. Cf. M. Bunge, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven CT, Yale University Press, 1996, y *Social Science under Debate*, Toronto, University of Toronto Press, 1998.

12. 4. 8. C. Darwin, en *The Descent of Man*, 1871, proponía su teoría de la evolución del hombre sin evidencia empírica directa. Ocurrió, muy a la inversa, que la teoría movió a los paleontólogos a buscar evidencia relevante. El propio Darwin explicaba la falta de datos diciendo que (*i*) las regiones más adecuadas para su conservación no habían sido aún exploradas por los geólogos, y (*ii*) los progresos geológicos habrían probablemente destruido una parte del registro fósil relevante. Discutir este caso a base de la doctrina de que los datos tienen que ir por delante de la teoría Cf. W. Le Gros Clark, "The Crucial Evidence for Human Evolution", *Proceedings of the American Philosophical Society, 103*, 159, 1959.

12.4.9. Examinar las opiniones siguientes sobre la decisión del científico respecto de la aceptación o recusación de un informe observacional: (*i*) La decisión está *plenamente justificada* por las experiencias perceptuales del observador. (*ii*) La decisión es *arbitraria*, y toda búsqueda de justificación está lógicamente injustificada, porque lleva a una regresión infinita. (*iii*) La decisión está *parcialmente justificada* a la vez por las experiencias perceptuales intersubjetivas y por las teorías científicas, pero en cualquier caso, y además de parcialmente, sólo de modo provisional.

12.4.10. Los datos que consisten en proposiciones singulares contienen nombres propios o *descripciones determinadas*, como 'el nuevo amperímetro'. Esta expresión se simboliza así: '$(\iota x)Ax$', lo cual se lee: 'el x (único) tal que x es un A', o, para abreviar, 'el A'; la expresión se trata como un nombre propio, en el sentido de que puede predicarse de ella cualquier cosa, verdadera o falsamente. Una proposición como "Se está quemando el nuevo amperímetro" puede simbolizarse así: '$B(\iota x)Ax$'. Según B. Russell, el análisis correcto de "Está quemándose el nuevo amperímetro", o sea, de '$B(\iota x)Ax$', es "Existe un individuo tal que es un nuevo amperímetro y está quemándose y, si algo es un nuevo amperímetro, entonces ese algo es dicho individuo". Breve y simbólicamente:

$$B(\iota x)Ax \leftrightarrow (\exists x)\ [Ax \,\&\, Bx \,\&\, (y)\ (Ay \rightarrow y = x)]$$

Cf. I. Copi, *Symbolic Logic*. Nueva York, Macmillan, 1954, p. 156. De ese modo, dado un enunciado como "Al jefe del Olimpo le gustaban las chicas", no nos vemos obligados a introducir un objeto ideal –el objeto ideal aparentemente denotado por 'el jefe del Olimpo'–, pues no existe tal objeto ('Zeus' no nombra nada). Pero, por otro lado y según ese análisis, un dato en el cual aparezca una descripción determinada no tiene la forma de un enunciado atómico (inanalizable), puesto que contiene un cuantificador universal. Y esta consecuencia es incompatible hasta con el más suave empirismo, porque resulta que analiza ciertos conceptos singulares en conceptos universales, en vez de al revés. Examinar al respecto las siguientes propuestas: (*i*) Establecer la regla de que los datos no deben contener descripciones determinadas, sino nombres propios; pero calcú-

lense las consecuencias de esta solución. (*ii*) Declarar que el análisis russelliano es irrelevante, o sea, sostener que su análisis lógico no debe tenerse en cuenta en epistemología, o que no hay por qué aplicarlo en la ciencia; pero, entonces, dar una razón que justifique esta solución. (*iii*) Reemplazar el análisis russelliano de la descripción determinada por este otro:

$$[a = (\iota x)Fx\,] =_{df} Fa \in (x)\,(Fx \rightarrow x = a)$$

Cf. M. Bunge, *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974.

12.5. FUNCIONES

La mayoría de los constructores de sistemas metafísicos, desde Platón y Aristóteles, pasando por Descartes y Leibniz, hasta Hegel y Hartmann, han pretendido que tenían un conocimiento *a priori* de la realidad, o sea que poseían un conocimiento factual independiente de la experiencia controlada. Esos autores dejaron siempre a la ciencia la pesada tarea de averiguar los detalles de ese conocimiento, pero sostenían, sin prueba alguna, que la esencia del mismo era asequible mediante una especial intuición (intuicionismo) o por la mera razón (racionalismo), y, en cualquier caso, sin la ayuda de la extrospección y el experimento. Esos sistemas han fracasado de un modo definitivo: no se trata sólo de que no aportaran verdad factual sino, además, de que, por su mal planteamiento de los problemas, los métodos y los objetivos, no podían nunca colocarse en el lugar de la ciencia, que es teórica y empírica siempre y a la vez.

El fracaso del apriorismo ha sido siempre un estímulo para el aposteriorismo, o sea para la gnoseología empirista según la cual la sola experiencia y, en particular, la experiencia orientada por fines y controlada, puede suministrar conocimiento factual. Los filósofos empiristas del pasado se han esforzado eficazmente por difundir la idea de que la recolección y la sistematización de datos son fines en sí mismos. Pero hemos visto en varios lugares que ésa es una imagen de la protociencia, no de la ciencia, de tal modo que el puro aposteriorismo es una filosofía de la ciencia tan falsa como el puro apriorismo.

*El aposteriorismo se expresa a veces diciendo que, en última instancia, el conocimiento factual se condensa en *descripciones de estado*, cada una de las cuales es un conjunto de proposiciones singulares que describen, agotándolo, el estado de una parte finita del cosmos, o, más bien, del universo de la experiencia. El examen de un ejemplo nos mostrará la dimensión precisa de esa idea. Imaginemos un universo que consista simplemente en tres cosas sin estructuras que puedan disponerse linealmente en un espacio no métrico, de tal modo que lo único interesante sean sus posiciones respectivas. Hay 1.2.3. = = 3! = 6 modos en los cuales disponer los constituyentes de nuestro microuniverso. Cada uno de esos estados posibles de nuestro universo imaginario puede describirse por un enunciado del tipo "La cosa 1 está en *n*, la cosa 2 en *p*, la cosa 3 en *q*". A su vez, cada una de esas descripciones de estados posibles de nuestro microuniverso se compone de tres proposiciones. Si adoptamos números para identificar posiciones, podemos escribir esquemáticamente esas proposiciones atómicas en la forma "La cosa *m* está en *n*", siendo

m y n números (ordinales). Aún más brevemente: hagamos que 'P_{mn}' designe el enunciado "La cosa m está en n". Con esta notación, el estado 231 podría describirse mediante la conjunción "P_{21} & P_{32} & P_{13}". Hay en total $3^2 = 9$ proposiciones de esa clase. Para N objetos diferentes habrá N^2 proposiciones atómicas por medio de las cuales pueden formarse $1.2.3.N = N!$ proposiciones complejas, cada una de las cuales describa un estado. Estas N^2 proposiciones atómicas pueden disponerse en una tabla cuadrada o matriz que recoja todos los elementos informativos posibles respecto del universo ficticio, la matriz $[P_{mn}]$, tabla a la que puede darse el pomposo nombre de *matriz de estado universal*.

Pero todo eso carece de interés práctico y teorético. Carece de interés práctico porque la tarea de llevar a cabo una descripción total de alguna parte del mundo no tiene perspectiva alguna. Baste con recordar que sólo para 10 cosas simples (sin estructura) que puedan disponerse linealmente el número de estados posibles es $10! = 3.628.800$. Además, es imposible obtener un elemento de interés en una descripción de estado actual o posible sin contar con algunas teorías, porque la mayoría de los hechos no son observables más que indirectamente (cf. secs. 12.2 y 12.3). Si el objeto de interés resulta ser atómico o subatómico, entonces el valor de la observación (indirecta) es incluso menor, porque no hay masa de información empírica que baste para determinar unívocamente el estado de tal sistema: de hecho, no hay más que una relación de probabilidad entre cualquier estado y cualquier conjunto dado de valores (indirectamente) observables de las micropropiedades (por ejemplo, el momento) del sistema. A la inversa, si se "conoce" el estado de un sistema (o sea, si ese estado se toma como supuesto), y se "observa" efectivamente varias veces cualquier propiedad P del sistema, entonces todo lo que podemos inferir es (*i*) que cualquier elemento de un determinado conjunto infinito de valores de P puede presentarse como dato, y (*ii*) cualquiera de esos valores se presentará con una determinada probabilidad que, si el supuesto es verdadero, no discrepará mucho de la frecuencia fáctica observada. Dicho brevemente: en el caso de los sistemas atómicos no hay conjunto de observaciones que baste para determinar unívocamente una descripción de estado, descripciones que se formulan (en este caso) en lenguaje teorético, no empírico. Baste eso sobre la imposibilidad de conseguir un inventario total del universo. Por lo que hace a la falta de interés teorético de la empresa, ella se manifiesta claramente en cuanto se considera que ni siquiera de una matriz dc estado completa podría inferirse nada, pues una tal matriz tampoco pasaría de ser un compendio de informaciones laxas y sueltas. La ciencia aspira a *leyes* y a *sistemas de leyes* (teorías), no a colecciones de piezas de información sueltas. (Un conjunto de relaciones entre los varios elementos, P_{mn}, de la matriz de estado universal, o un conjunto de enunciados sobre su evolución en el tiempo, constituirían una teoría: pero ésa es precisamente la fiera que quería evitar el empirismo con su planteamiento mediante descripciones de estado.) La insistencia en las descripciones de estado no es más que un resto del estadio preteorético de la ciencia, de cuando el objetivo de la investigación parecía ser la acumulación de observaciones que no resolvían problemas ni se explicaban por teorías. Esa filosofía de tendero ha quedado repasada hasta en la ciencia de las decisiones y el comportamiento, en la que ya se construyen hoy teorías matemáticas.*

Podemos llamar *datismo* a la creencia en que toda pieza de conocimiento científico es un conjunto de datos. El datismo se parece al *dadaísmo*, la doctrina según la cual las

teorías tienen que ser las sistematizaciones más sencillas (más económicas) de los datos: si no hay más conocimiento que el empírico y éste consiste en un conjunto de datos, entonces es absurdo organizar esos datos de modo complejo. El datismo y el dadaísmo son el núcleo del empirismo estricto, filosofía incongruentemente profesada por numerosos teóricos y subyacente a muchos planes de investigación. Esa filosofía anima a la ciega acumulación de información superficial, lo cual no lleva a ninguna parte porque no arranca de ningún fecundo punto de partida y, además, se produce en un vacío de ideas. Esta clase de laborioso tanteo en las tinieblas queda ejemplificada del mejor modo por aquel profesor que alimentaba a sus perros con todo lo que encontraba en la tienda, sin despreciar los detergentes de diversas complicaciones, y luego medía cuidadosamente el volumen de jugo gástrico que recogía mediante fístulas practicadas en el estómago de los animales. Un trabajo sin objetivos como es ése puede consumir tanta energía humana y tanto instrumental como una auténtica pieza de investigación desencadenada por un problema de verdadero interés suscitado en el marco de un cuerpo de ideas y destinado a someter a prueba algunas de ellas. Puede incluso ser un fraude costoso y, cosa aún más condenable, puede desorientar a innumerables hombres de talento haciéndoles creer que la investigación científica consiste en observar lo que sea por el mero gusto de observar, y no en preguntar, pensar y poner a prueba empírica y teoréticamente lo pensado para descubrir estructuras generales. Ninguna filosofía idealista, por extremada que sea, puede frenar el progreso científico tan radicalmente como esa línea de investigación sin ideas que se considera científica simplemente porque, según la dominante filosofía de la ciencia, los hechos cuidadosamente registrados son todo lo que importa y las ideas científicas no son más que sumarios de hechos o cómodos instrumentos para establecer vínculos entre hechos. Lo que se ahorra absteniéndose de teorizar y de elaborar una teoría de la ciencia concorde con la investigación progresada se pierde muchas veces en forma de investigación ciega.

El datismo y el dadaísmo se encuentran también tras la preferencia por lo que se llama ciencia en grande, que consiste en enormes proyectos que utilizan grandes masas de trabajadores e instrumentales científicos y aspiran a conseguir montañas de datos. No hay duda de que esa ciencia "al por mayor" (o sea, de mucho gasto) es necesaria y hasta admirable: ¿quién puede no admirar esas amplias y disciplinadas masas de investigadores que recogen y elaboran laboriosa y pacientemente miles de millones de datos, con la esperanza de que algún teórico podrá entenderlos alguna vez? La ciencia "al por mayor", *big science*, es necesaria siempre que no anule la ciencia "al detall" la cual suministra a la otra problemas y teorías, y a la cual hay que suministrar, a la inversa, los datos para que lleguen algún día a tener sentido. La "ciencia al por mayor" es ciencia menor comparada con la ciencia "al detall" y, por tanto, sería mortal que la ciencia "al por mayor" terminara por eliminar a su madre y maestra. Para evitar esa catástrofe es necesario elaborar una filosofía de la ciencia que no caiga en ninguno de los dos extremos del apriorismo y aposteriorismo, y que ponga las operaciones y los registros de observación en el lugar que merecen.

Un empirista contemporáneo admitirá sin duda que la observación no es la única tarea de la ciencia, pero seguirá sosteniendo que toda la ciencia *se basa* de un modo u otro en datos sensibles o información perceptual recogida mediante la observación, la medi-

ción y el experimento. Puede además sostener que esa base perceptual es inconmovible, por lo que merece realmente el nombre de *base*. Está, en efecto, muy difundida la opinión de que los datos sensibles son básicos en sentido psicológico y en sentido lógico, o sea, que son efectivamente anteriores a las ideas y que todas las construcciones (conceptos teoréticos, hipótesis y teorías) se destilan de un modo u otro de la observación. Pero esa opinión es errónea, tanto desde el punto de vista psicológico cuanto desde el punto de vista lógico. En primer lugar, los datos de los sentidos van frecuentemente precedidos por expectativas nacidas de creencias más o menos vagas; aún más: lo que posibilita los datos sensibles como tales datos es una actitud expectante y alerta, sobre todo en el caso de la experiencia. En segundo lugar, los datos sensibles de los científicos son en sí mismos irrelevantes para la ciencia: la observación y el experimento científicos son en sí mismos irrelevantes para la ciencia: la observación y el experimento científicos no recogen datos sensibles, sino datos objetivos y controlables formulados en un lenguaje impersonal. En tercer lugar, ningún dato es objeto de búsqueda, y aún menos de uso, fuera de algún cuerpo de conocimiento: no hay datos científicos espontáneamente dados, ni colecciones espontáneas de datos puros sobre los cuales pueda fundarse una ciencia nueva aislada del conocimiento anterior. En cuarto lugar, las construcciones teoréticas se inventan o crean, no se destilan (no se inducen) a partir de datos sensibles, precisamente porque rebasan los datos. En quinto lugar, sólo la teoría puede convertir ciertos datos en evidencias relativas a objetos inobservables. En resolución: los datos de los sentidos no son fundamentación psicológica ni lógica de la ciencia. Aún más: no existe ninguna fundamentación de la ciencia que sea absoluta e incorregible; por tanto, todos los fundamentalismos deben rechazarse en metaciencia.

Como a menudo ocurre con los extremos, el apriorismo metafísico y el aposteriorismo positivista ignoran cada uno un lado de la moneda: el conocimiento científico ha sido siempre resultado de la interacción de la razón con la experiencia. En particular, la observación, el tipo más simple de experiencia científica, no es ni más ni menos que una componente de la investigación científica. En efecto, las funciones de observación en la ciencia factual son: (*i*) suministrar información, (*ii*) producir problemas sobre los datos, y (*iii*) contrastar hipótesis concebidas para resolver dichos problemas. Ninguna de esas funciones es una finalidad por sí misma: el desideratum último es el descubrimiento de estructuras, y éstas se representan por teorías que la observación puede contribuir a contrastar. La observación es, pues, insuficiente: si necesitamos un conocimiento factual profundo y preciso, tenemos que pasar a la medición y al experimento siempre que ello sea posible. Pero esto merece capítulos aparte.

Problemas

12.5.1. El astrofísico A. Eddington sostenía, siguiendo a Kant, que poseía un conocimiento a priori del mundo físico, un conocimiento derivado puramente de principios epistemológicos. Examinar esa pretensión y el programa subsiguiente. Cf. Eddington, *The Philosophy of Physical Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 1939. Luego estudiar la crítica de L. S. Steebbing, *Philosophy and the Physicist*, Londres, Methuen, 1937, y de M. Born, *Experiment and Theory in*

Physics. Londres, Cambridge University Press, 1944. Por último, discutir si pueden tener éxito intentos apriorísticos como el presentado por Eddington.

12.5.2. El hombre había observado flores durante un millón de años antes de sospechar (1694) que eran los órganos sexuales de las plantas; por si eso fuera poco, los sumerios practicaron hace cinco mil años la polinización artificial en gran escala. ¿Por qué no consiguieron ni la observación ni la acción dar nacimiento a la botánica?

12.5.3. Frecuentemente se han producido descubrimientos por suerte o casualidad. Se encontrará una narración cautivadora en R. Taton, *Reason and Chance in Scientific Discovery*, Nueva York. Philosophical Library, 1957. Pero L. Pasteur decía que la suerte no puede enseñar algo sino a inteligencias preparadas. ¿Preparadas por qué cosa?

12.5.4. El físico atómico y el psicólogo, ¿conocen sus objetos por medio de los sentidos? Asegurarse de que se distingue entre los referentes de sus ideas y la evidencia relevante para las mismas.

12.5.5. La física de salón se puso de moda hacia mediados del siglo XVIII y siguió estándolo hasta fines del XIX. Las exhibiciones más gustadas eran las de fenómenos eléctricos y magnéticos, hechas más para entretener que para instruir: esos procedimientos no dieron de sí ninguna ciencia de la electricidad y el magnetismo. Análogamente se han hecho innumerables observaciones de salón sobre fenómenos hipnóticos, las cuales no han dado nada para el conocimiento de la hipnosis. ¿A qué se debe tal esterilidad de observaciones cuidadosas? *Problema en lugar de ése*: En 1776. M. van Marum observó que las descargas eléctricas imantan piezas de hierro, pero no llegó a interpretar el hecho como una interacción entre la electricidad y el magnetismo; sus observaciones se olvidaron. En 1887, H. Hertz observó lo que hoy llamamos efecto fotoeléctrico, pero no llegó a interpretarlo como extracción de electrones por el impacto de la luz: eso hace que no suela atribuírsele el descubrimiento del efecto fotoeléctrico. Inferir de ese hecho alguna enseñanza.

12.5.6. Estimar (*i*) el conocimiento relativo a hechos aislados y (*ii*) el conocimiento de generalizaciones aisladas. Sobre el primero, cf. H. Helmholtz, *Popular Scientific Lectures*, Londres, Longman, Green and Co., 1873, p. 369. Sobre el segundo, Schroedinger, *Science: Theory and Man*, Nueva York, Dover Publications, 1957, p. 93.

12.5.7. Comentar la segunda de las siguientes frases tomadas de B. Schultzer, *Observation and Protocol Statement*, Copenhage, Munksgard, 1938: (*i*) "Proponemos entender por proposición de protocolo una proposición que, sobre la base de una observación dada, atribuye algunas características a lo observado en esa observación" (p. 5). (*ii*) "Una proposición de protocolo es válida si su formulación en un determinado lenguaje de protocolo está determinada sin ambigüedad por lo observado (junto con un sistema de referencia aceptado y una tolerancia de imprecisión también aceptada)" (p. 9). ¿Se justifican por la mera observación los informes observacionales? ¿Existe un lenguaje de protocolo (neutral y observacional), o sea, un lenguaje no "contaminado" por hipótesis y teorías? Si no existe, ¿sería posible construirlo? Y si fuera posible, ¿valdría la pena, si no para fines científicos al menos para hacer películas sobre el Australopithecus? *Problema en lugar de ése*: Comentar la siguiente frase, tomada de una revista de biología: "El gran poder resolutivo del microscopio electrónico, junto con las técnicas bioquímicas, acabará por revelar el (o los) papel(es) preciso(s) de los mitocondrios". ¿Puede imaginarse alguna función biológica que haya sido "descubierta" por la mera observación? Recuérdese que el mecanismo de la reproducción fue un misterio hasta el siglo XVIII, y que la función de órganos de gran tamaño incluso, como el páncreas y el timo, no se ha descubierto hasta hace poco.

12.5.8. Comentar los siguientes textos: (*i*) J. Tyndall, *Fragments of Science*, 5a. ed., Nueva York, Appleton, 1880, pp. 425-426: Puede que no seamos capaces de rebasar la experiencia, pero "en todo caso podemos llevarla muy lejos de su origen [...] Impelidos por los fenómenos sensibles, nos vemos dotados de la capacidad de formar imágenes mentales de lo ultrasensible; y me-

diante esa capacidad, debidamente disciplinada y controlada, podemos iluminar la oscuridad que rodea el mundo de los sentidos". (*ii*) H. Hertz, *The Principles of Mechanics*, 1894, Nueva York, Dover Publications, 1956, p. 25: "Si intentamos entender los movimientos de los cuerpos que nos rodean y referirlos a reglas simples y claras sin prestar atención más que a lo directamente observable, fracasaremos por lo general en el intento. Pronto nos damos cuenta de que la totalidad de las cosas visibles y tangibles no forma un universo sometible a la ley y en el cual los mismos resultados se sigan siempre de las mismas condiciones. Pronto nos convencemos de que la multiplicidad del universo actual tiene que ser mayor que la multiplicidad del universo directamente revelado por los sentidos. Si deseamos obtener una imagen del universo que sea redondeada, completa y sometible a la ley, tenemos que presuponer, por detrás de las cosas que vemos, otras cosas invisibles, o sea, por así decirlo, imaginar unos ocultos socios más allá de los límites de nuestros sentidos."

12.5.9. ¿Es la observación la fuente de todo conocimiento, o más bien una fuente de conocimiento descriptivo y una contrastación de hipótesis y teorías? *Problema en lugar de ése*: Discutir el trabajo de W. V. O. Quine "Posits and Reality", en S. Uyeda, *Basis of the Contemporary Philosophy*, Tokyo, Waseda University, 1960, vol. V.

12.5.10. Tomás de Aquino, siguiendo a Aristóteles, sostenía que las impresiones sensibles son necesarias, aunque no suficientes, para adquirir un conocimiento intelectual de los cuerpos: el intelecto suministra los universales, sin los cuales no puede haber tal conocimiento. Cf. *Summa Theologica*, q. LXXXIV, arts. 6 y 8, y q. LXXXV, art. 1, y *Summa contra gentiles*, libro I, cap. XII. Primera pregunta: ¿Por qué se presenta tan frecuentemente el aristotelismo y el tomismo como apriorismo? Segunda pregunta: ¿Por qué se dice tan frecuentemente que sólo la filosofía moderna ha apreciado la importancia de la experiencia sensible para el conocimiento? Pregunta tercera: ¿Qué doctrina es más afín a la ciencia: el apriorismo cartesiano, el aposteriorismo baconiano o el aristotelismo?

BIBLIOGRAFÍA

Ayer, A. J., *The Problem of Knowledge*, Londres, Penguin Books, 1956, cap. 3.

Blanshard, B., *The Nature of Thought*, Londres, Allen & Unwin, Nueva York, MacMillan, 1939, 2 vols., especialmente el libro I.

Bunge, M., *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, especialmente los caps., 5, 6 y 8.

——, *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1977.

——, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.

——, *Exploring the World*, Dordrecht, Reidel, 1983.

Daedalus, *87*, núm. 9, 1954, número "On Evidence and Inference", especialmente el artículo de M. Deutsch "Evidence and Inference in Nuclear Research", y el trabajo de P. F. Lazarsfeld "Evidence and Inference in Social Research".

Frank, P., *The Validation of Scientific Theories*, Boston, The Beacon Press, 1958.

Hanson, N. R., *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge University Press, 1958, caps. I y II.

Körner, S. (ed.), *Observation and Interpretation*, Londres, Butterworth Scientific Publications, 1957, Nueva York, Dover, 1962.

Lenzen, V. F., *Procedures of Empirical Science*, vol. I, núm. 5 de la *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1938.

Lewis, C. I., *An Analysis of Knowledge and Valuation*, La Salle, Ill., Open Court, 1946.

Russell, B., *An Inquiry into Meaning and Truth*, Londres, Allen & Unwin, 1940 especialmente los caps. XXI y XXII. Traducción castellana, *Investigación sobre el significado y la verdad*, Buenos Aires, 1946.

Waissmann, F., "Verifiability", en A. Flew (ed.), *Logic and Language*, Oxford, Blackwell, 1951, vol. I.

13. MEDICIÓN

Lo que puede observarse directa o indirectamente son algunos rasgos de alguna cosa concreta. Para ser precisa, la observación tiene que ser cuantitativa, porque los objetos concretos tienen propiedades cuantitativas, aunque no sea más que porque existen en determinadas cantidades y en el espacio-tiempo. La observación cuantitativa es la medición. Siempre que se atribuyen números a ciertos rasgos sobre la base de la observación se están practicando mediciones. Hay tantas clases de medición como clases de propiedades y técnicas de medición. En lo esencial, podemos contar, comparar, o medir en sentido estricto. Para decidir qué clase de medición es la que hay que practicar en cada caso es necesario llevar a cabo un análisis del concepto que denote la propiedad correspondiente. Según eso, hay que analizar la naturaleza de la cuantificación para poder entender los rasgos de la medición.

13.1. CUANTIFICACIÓN NUMÉRICA

Llamaremos cuantificación numérica a cualquier procedimiento por el cual ciertos conceptos se asocien con variables numéricas. Así, por ejemplo, el volumen es bulto cuantificado, la probabilidad puede interpretarse como posibilidad cuantificada y la probabilidad de éxito es la efectividad cuantificada. Puesto que hay varias clases de conceptos es presumible que encontraremos varias clases de cuantificación.

Recordemos la clasificación de conceptos dada en la sec. 2.2 (cf. tabla 2.6). Distinguíamos cuatro géneros de conceptos: individuales, de clase, relacionales y cuantitativos. Los conceptos individuales, esto es, los conceptos cuyos referentes son individuos, son claramente no-cuantitativos (cualitativos), a menos que consistan en individuos numéricos, o sea, en números. (Pero los números se pueden considerar como clases de clases, no como individuos primarios.) Sin duda pueden atribuirse *cifras* (nombres de números) a los individuos, en vez de nombres corrientes, como ocurre con los presos. Pero ese uso *nominal* de los números es puramente convencional y no tiene significación teorética: en realidad, en este caso pueden perfectamente sustituirse las cifras por números de otra clase.

También los conceptos de clases son cualitativos. Y también a ellos pueden atribuirse números de un modo convencional. En efecto, un concepto de clase como "hombre" da origen al predicado "es un hombre", el cual puede a su vez ser verdadero o falso de cualquier individuo dado. Si un determinado individuo, llamado *c*, es efectivamente un hombre, entonces podemos simbolizar el hecho escribiendo la cifra '1'; si *c* no es un hombre podemos escribir '0'. O sea: podemos considerar que los conceptos de clases producen predicados dicotómicos, esto es, predicados que pueden tomar uno de dos valores, presencia o ausencia de la propiedad correspondiente. Esta atribución de números es tam-

bién convencional: podríamos perfectamente haber elegido el par (–17, 3).

*Hay otro modo de atribuir números a conceptos de clases. Sea G un género compuesto de dos especies, E_1 y E_2. También podemos concebir a G como un conjunto de estados que consta de dos estados posibles, E_1 y E_2 (por ejemplo, abierto y cerrado en el caso de puertas o de interruptores eléctricos). En cualquier caso, sean E_1 y E_2 subconjuntos no solapados de G. Dado un individuo x, hay dos posibilidades: o bien x está en G o bien x no está en G. No nos interesa más que el primer caso; si x está en G (es miembro de G), entonces está en E_1 o en E_2. He aquí una útil representación de esas dos posibilidades. (*i*) Si x está en E_1 describimos el estado de x por medio de la columna

$$\psi_1(x) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

(*ii*) Si x está en E_2, describimos el estado de x por medio de

$$\psi_2(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

(*iii*) Si lo único que sabemos acerca de x es que está en G, pero ignoramos si está en E_1 o en E_2, podemos escribir:

$$\psi(x) = c_1\, \psi_1(x) + c_2\, \psi_2(x),$$

expresión en la cual c_1 y c_2 son funciones determinadas que pueden relacionarse, por ejemplo, con las probabilidades respectivas de que x esté en E_1 o en E_2. Esta asociación de conceptos de clases con números y funciones numéricas es muy importante en las teorías cuánticas; no hay razón alguna para no utilizarla en otras ciencias, especialmente en biología.*

El modo más corriente de atribuir números a clases consiste en determinar el número de elementos de una clase. La numerosidad o *cardinalidad* de un conjunto C es una función de conjuntos –que simbolizaremos por '*Card*'– la cual proyecta C sobre el conjunto N de los números naturales (enteros positivos). Brevemente: $Card(C) = n$, siendo n un miembro de N. Si los elementos del conjunto son factuales (por ejemplo, planetas) el functor entero es un número concreto (por ejemplo, "9 planetas"); en este caso la cardinalidad es una propiedad *física*, y el cálculo de la cardinalidad puede no coincidir con la aritmética de los números naturales. Dicho de otro modo: en el caso de los conjuntos factuales, el cálculo de la cardinalidad dependerá de la naturaleza de los conjuntos y de los concretos procesos u operaciones correspondientes a las aritméticas. Sean C_1 y C_2 dos conjuntos de bolas o fichas, y designe '+' el proceso físico (o la operación empírica) que consiste en reunir o yuxtaponer las dos colecciones. Entonces $Card(C_1 + C_2) = Card(C_1) + Card(C_2) = n_1 + n_2$; o sea: la adición aritmética es la proyección de la adición física. Pero si la adición física de los dos conjuntos se produce por una colisión de alta energía, el resultante conjunto de cuerpos puede ser más numeroso que eso, es decir, $Card(C_1 + C_2) > n_1 + n_2$, de tal modo que la adición aritmética dejará de reflejar la adición física. El filósofo que ignora esas diferencias entre la suma física y la matemática acaba planteándose la pregunta kantiana: '¿Cómo son posibles los juicios sintéticos *a priori*?'

La cardinalidad de un conjunto empírico es un número entero finito. Pero la ciencia no se limita a considerar conjuntos empíricos, de todos los cuales se supone que son subconjuntos de conjuntos factuales. Y un conjunto factual puede ser infinito, como lo es el conjunto (actual) de los puntos de un campo de fuerza, o el conjunto (potencial) de los niveles de energía de un átomo. (El conjunto de los estados estables de un átomo es numerablemente infinito, pero un átomo puede encontrarse también en cualquiera de los estados de un conjunto continuo de estados inestables.) Desde un punto de vista matemático la distinción importante no es la que media entre conjuntos finitos e infinitos, sino la que existe entre conjuntos numerables, o contables, sean finitos o infinitos, y conjuntos no numerables, o continuos. Pero desde un punto de vista metodológico la distinción es entre conjuntos finitos y conjuntos infinitos, puesto que los primeros pueden en principio ser examinados totalmente (lo que no quiere decir conocidos totalmente), mientras que, puestos ante una población infinita, no podemos sino obtener muestras de ella, sin garantía de que la muestra vaya a ser representativa del total.

El concepto de cardinalidad de un conjunto abre la puerta a la matemática cuantitativa y, por tanto, a la cuantificación de conceptos más complejos. Consideremos el concepto psicológico de independencia de juicio respecto de la presión del grupo. Un indicador objetivo de independencia es la corrección de las apreciaciones de cuestiones de hecho (por ejemplo, de las estimaciones de longitud) frente a las opiniones contrarias dominantes en el grupo. Este indicador puede cuantificarse fácilmente como sigue. Sea U el conjunto básico de estimaciones de un determinado estado o situación factual, hechas por un individuo o un grupo bajo cierta presión social (el prejuicio, una información deliberadamente falsa, etc.). Ese conjunto puede dividirse en el conjunto C de las estimaciones correctas y su complemento, $\bar{C}$, las estimaciones incorrectas: $U = C \cup \bar{C}$. Podemos medir el grado de independencia por la fracción de estimaciones correctas en situaciones en las cuales actúan factores sociales que inducen a error. Dicho de otro modo: podemos introducir el concepto cuantitativo de independencia de juicio, $I(x)$, de una unidad social (persona o grupo) poniendo que su variable numérica, y, es igual a la razón de la cardinalidad del conjunto de las estimaciones correctas a la cardinalidad del conjunto total de estimaciones:

$$I(x) = y = \frac{Card(C)}{Card(C \cup \bar{C})}$$

(S. E. Asch ha obtenido valores del orden de 0,43 en situaciones bajo control experimental.)

Hemos examinado tres modos diferentes de atribuir números, y hasta funciones, a clases (o conceptos de clases), o sea, tres clases diferentes de cuantificar cualidades, una de las cuales es nominal o convencional. Analicemos ahora la cuantificación de conceptos relacionales, que en la tabla 2.6 se dividieron en conceptos comparativos y conceptos no-comparativos. Subdividimos a su vez los conceptos comparativos en relaciones propiamente dichas, como "perteneciente a", y operadores, como "+". Es claro que los conceptos no-comparativos no pueden cuantificarse más que de modo nominal (convencional). Efectivamente, por lo que hace a una relación del tipo de "es la madre de" o "ejerce influencia sobre" podemos simplemente decir que vale o no vale entre dos entidades da-

das. Si vale, podemos convenir en escribir '1', si no vale, '0'. Análogamente para operadores como "+" y "÷". Para cada una de esas relaciones diádicas podemos, pues, construir una tabla o matriz $R = [r_{ij}]$ cuyos elementos r_{ij} representan la satisfacción o insatisfacción de la relación dada por el par (i, j). Si R vale entre i y j, escribimos $r_{ij} = 1$, y si no, $r_{ij} = 0$. Matrices de esa clase se usan en sociología. Una asignación de números practicada de ese modo tiene significación meramente pragmática: es prácticamente conveniente utilizar las cifras '1' y '0', pero su función no rebasa la del signo usado para puntear datos o cuentas, '√'. Sólo conceptos comparativos, como "más alto que", pueden someterse a cuantificación no-nominal.

Conceptos *comparativos* son aquellos por medio de los cuales pueden ordenarse conjuntos; o también, cosa que equivale a lo anterior, aquellos conceptos por medio de los cuales pueden jerarquizarse los elementos de un conjunto. La relación de ser más duro que realiza esa función respecto de cuerpos; por tanto, "más duro" es un concepto comparativo en el conjunto de los cuerpos. Dicho más detalladamente: dado un conjunto C de cuerpos, podemos ordenarlos de acuerdo con su dureza; o sea, la relación de dureza es conexa en el conjunto de los cuerpos, pero no en el de las ondas ni en el de los sentimientos.

Además, la relación es asimétrica: si x es más duro que y, entonces y no es más duro que x. En segundo lugar, la relación es irreflexiva: no vale para un solo cuerpo. En tercer lugar, la relación es transitiva: si x es más duro que y e y es más duro que z, entonces x es más duro que z. Como puede hallarse cierto número de cuerpos de igual dureza, la relación no establece un orden lineal estricto; más bien ordena subconjuntos de cuerpos. Dicho de otro modo: dados dos cuerpos cualesquiera, x e y, es falsa la afirmación de que $x > y$ (con el sentido de "x es más duro que y") o $x < y$ ("x es más blando que y"). Puede ocurrir que $x = y$ ("es tan duro como y"). Dicho pragmáticamente: si del conjunto de los cuerpos se toman al azar dos, x e y, la relación que se verá empíricamente satisfecha entre ellos es la relación, más débil que la anterior, $\geq$. Esta relación se da entre cuerpos individuales y produce un orden débil.

Podemos examinar este asunto del siguiente modo. Arrancamos de la clase o concepto cualitativo "duro", o "brillante", como se prefiera. Entonces es asunto convencional la cuestión de dónde establecemos la divisoria entre cuerpos duros y cuerpos no-duros (blandos). Dicho de otro modo, podemos asociar nominalmente una cifra, '1' por ejemplo, a ciertos cuerpos, los que incluyamos en el conjunto de los cuerpos duros, y la cifra '0' a los que excluyamos de ese conjunto. Puede practicarse una división más fina de los cuerpos desde el punto de vista de su dureza construyendo el concepto comparativo "más duro" a partir del concepto de clase "duro": además, el conjunto puede disponerse entonces como en cadena. Por último, podemos atribuir convencionalmente una cifra a cada eslabón de la cadena. Podemos, en efecto, convenir en asociar la cifra '1' al menos duro de todos los cuerpos conocidos, '10' al más duro de ellos y las cifras intermedias a otras clases de cuerpos. Ninguna de esas cifras será, desde luego, significativa por sí misma: habrían podido escogerse otras cifras, letras o signos *ad hoc*, y se habría podido invertir su orden: por eso no decimos que los *números* miden la dureza, sino que hablamos de *cifras* (que son signos). Todo lo que indican esas cifras es el lugar relativo de una entidad en una ordenación simple. Consiguientemente, del hecho de que el cuerpo a tenga atribuida la dureza 6 y el cuerpo b la dureza 2 no podemos inferir que el cuerpo a sea tres veces

más duro que el cuerpo *b:* pues *las cifras no se dividen*, del mismo modo que no se dividen los nombres. Para evitar equívocos en este punto es conveniente escribir 'n^*' para designar la cifra o marca correspondiente al número *n*. Lo dicho no implica que la dureza sea propiedad *intrínsecamente* no cuantitativa, como tantas veces se dice: en realidad se han construido conceptos cuantitativos de dureza en la teoría de los metales; el concepto comparativo de dureza, tratado hasta ahora, es peculiar del planteamiento empírico.

La atribución de números a conceptos comparativos (de orden) es puramente nominal o convencional a menos que se ponga subyacente al concepto comparativo un concepto cuantitativo. Tomemos, por ejemplo, la altura. Psicológicamente partimos del concepto de clase "alto"; sobre la base de ese concepto introducimos luego el concepto comparativo "más alto"; por último, construimos el concepto cuantitativo "altura". Una vez obtenido este último, volvemos al concepto comparativo y lo cuantificamos. Podemos, en efecto, comparar los números (no las cifras) que expresan alturas diferentes y decir, por ejemplo, 'El macizo del Himalaya es dos veces más alto que los Alpes', lo cual es matemáticamente correcto, porque ahora estamos comparando números. La introducción de conceptos cuantitativos es, pues, lógicamente anterior a la cuantificación de conceptos comparativos.

Un predicado métrico (functor numérico, cantidad o magnitud) designa una propiedad cuantitativa. Una magnitud, como la longitud o la intensidad de estímulo, es un concepto complejo que puede analizarse distinguiendo en él la(s) variable(s) de objeto, la(s) variable(s) numérica(s) y una función de la(s) primera(s) a la(s) segunda(s). (Recuérdese la sec. 2.3). Las variables de objeto designan las entidades de las cuales la magnitud en cuestión predica una propiedad, y las variables numéricas designan los números asociados a esa propiedad. Tomemos, por ejemplo, el concepto de longitud, que puede analizarse así: $L(x, u) = y$, lo cual se lee 'la longitud de x es igual a y unidades de longitud'. La variable de objeto x de este concepto tiene como campo de variabilidad el conjunto de los cuerpos, y generalmente no se menciona: en la ciencia factual se toma como dado que las longitudes lo son de cosas, no de esperanzas ni longitudes en sí mismas, por ejemplo. (En otro concepto podemos atribuir a 'longitud' una significación diferente, aun manteniendo la indicada estructura lógica. Así, podemos introducir el concepto de longitud de una idea conviniendo en caracterizarla, por ejemplo, como el número de símbolos que se presentan en su simbolización lógica con la ayuda de algún cálculo.) Y la variable numérica puede tomar en este caso cualquier valor real del intervalo $[0, \infty]$; en otros casos las variables numéricas pueden tomar valores negativos o hasta complejos en una gran variedad de campos. En cualquier caso, la cuantificación no elimina los objetos físicos: al practicarla no sustituimos cosas por números, sino que asociamos números a conceptos que representan propiedades de cosas.

Si se toman para medición dos o más objetos, puede ser que intervengan en la magnitud más de una variable de objeto. Por ejemplo, si se yuxtaponen por sus extremos dos varillas, x e y, se produce un tercer objeto z del que puede decirse que es la *suma* (o unión) *física* de x e y. Denotaremos la adición física por '$\dot{+}$', para distinguirla de la correspondiente operación aritmética: la primera se refiere a cuerpos, la segunda a números. Si nos preguntamos ahora cuál es la longitud $L(x \dot{+} y)$ de la varilla compuesta $z = x \dot{+} y$, la respuesta será: el valor numérico de la longitud total es igual a la suma de las longitudes parciales, o sea:

$$L(x \dotplus y) = L(x) + L(y) \qquad [13.1]$$

con independencia de la escala y la unidad de longitud.

Esa fórmula es sintética (no lógica), porque pueden concebirse universos en los cuales las longitudes no se sumen de ese modo tan sencillo, o sea, universos en los cuales la longitud no sea una medida aditiva. (Además, los valores *medidos* de $L(x)$ y $L(y)$ no son estrictamente aditivos: en algunos casos las dos operaciones pueden incluir un error mayor que la operación de medir la longitud total, y en otros casos un error menor que el de ésta.) En última instancia lo que nos interesa no son cantidades matemáticas, como las distancias de una geometría métrica, sino una propiedad física. Supongamos ahora que consideramos dos regiones contiguas, x e y, de un espacio y que calculamos sus volúmenes. En todas las geometrías los volúmenes son aditivos, igual que las distancias. Si, en cambio, realizamos la operación física de añadir un cuerpo de agua a un cuerpo de alcohol, hallaremos que el volumen líquido total no equivale a la suma de los volúmenes parciales: $V(x \dotplus y) \neq V(x) + V(y)$. También ésa es una verdad sintética (no analítica). La experiencia sugiere que los volúmenes de materia son aditivos a condición de que tengan la misma composición química. Pongamos 'E' para significar "especie química". Tenemos entonces:

$$\text{Si } x \text{ e } y \text{ están en } E, \text{ entonces } V(x \dotplus y) = V(x) + v(y) \qquad [13.2]$$

Incluso esa proposición es insuficiente en algunos casos. Piénsese en la unión de dos cuerpos de uranio cuya masa total rebase la masa crítica en la cual se produce el comienzo de una reacción en cadena. Todos esos son casos de aditividad condicional. Pero algunas magnitudes no son aditivas ni siquiera condicionalmente. Así, por ejemplo, si las dos varillas, x e y, de nuestro anterior ejemplo se encuentran a temperaturas diferentes, entonces la temperatura compuesta del cuerpo, o sea, la temperatura de $z \doteq x + y$, no será la suma de las temperaturas parciales, sino que tendrá algún valor situado entre ambas. O sea: si x e y son sistemas diferentes, o partes diferentes de sistemas, entonces sus temperaturas no son aditivas:

$$\text{Si } x \neq y \text{ entonces } T(x \dotplus y) \neq T(x) + T(y) \qquad [13.3]$$

Las magnitudes que son exactamente aditivas respecto de la variable de objeto se llaman *extensivas*. Más precisamente, llamaremos *incondicionalmente extensivas* a las magnitudes para las cuales existe una operación física de adición, $\dotplus$, tal que vale para ellas una ley de la forma [13.1]. Si lo que vale para esas magnitudes es una ley de la forma más débil [13.2], las llamaremos *condicionalmente extensivas*. Las que, como la energía, son aproximadamente aditivas respecto de las variables de objeto se llamarán *cuasiextensivas*. Y todas las demás se llamarán magnitudes *intensivas*. La distancia, el área, la duración, la carga eléctrica y muchas otras magnitudes son extensivas. La masa, la energía, el volumen físico y varias otras son cuasiextensivas. Las densidades –de masa, de población o de cualquier otra cosa– son esencialmente magnitudes intensivas. Así, cuando decimos que el peso específico del hierro es 8, no queremos decir que la adición física (o yuxtaposición) de ocho unidades iguales de agua dará un cuerpo del mismo peso espe-

cífico que el hierro. Otras magnitudes intensivas son la frecuencia, la longitud de onda, el índice de refracción, la solubilidad, la permeabilidad magnética, el cociente de inteligencia y la renta per cápita, así como muchos otros índices numéricos utilizados en la ciencia social.

*Observemos aquí algunos puntos delicados. En primer lugar, el carácter extensivo de una magnitud depende de la existencia de una operación de adición física, pero no toda yuxtaposición o añadido puede considerarse como adición física. Así, por ejemplo, las resistencias eléctricas son aditivas porque, mediante la operación de conexión en serie, pueden combinarse de tal modo que la resistencia total sea igual a la suma de las resistencias parciales. Pero ese resultado no se obtiene si la conexión se hace en batería: por tanto, la conexión en batería no es una forma de adición física. (En cambio, las conductividades, o sea, las propiedades recíprocas de la resistencia, sí que son aditivas en ese tipo de conexión.) En segundo lugar, no es verdad que, como a veces se sostiene, algunas magnitudes extensivas no sean aditivas: si no son aditivas, no se les puede llamar extensivas ya por definición. El caso del teorema de adición de las velocidades en la cinemática relativista suele presentarse como contraejemplo de lo dicho, pero esa interpretación no es correcta; en realidad, en las tres velocidades de que se trata aparecen variables de objeto de distintas clases, a saber, el genérico punto de masa x, el marco de referencia del laboratorio, L, y otro sistema de referencia, M, en movimiento respecto de L. Llamando $U(M, L)$ a la velocidad de M respecto de L, $V(x, M)$ a la velocidad del punto de masa en el marco de referencia M, y $V(x, L)$ a la velocidad de ese mismo objeto respecto de L, tenemos

$$V(x, L) \neq V(x, M) + U(M, L)$$

lo cual no es un caso de sustitución o ejemplificación de [13.3]. Otro equívoco ante el cual hay que estar en guardia consiste en creer que las cantidades intensivas son las que pueden ordenarse, pero no sumarse. Así se dice frecuentemente que una fórmula como “2 °C + 3 °C + 5 °C” es falsa, o incluso un sin sentido, y que las magnitudes psicológicas subjetivas, como el mal gusto, por ejemplo, son ordinales y no cardinales, simplemente porque no son extensivas. Pero eso también es una confusión: todas las magnitudes, extensivas o no, son conceptos cardinales, conceptos cuantitativos. Lo que no puede someterse a operaciones matemáticas son las cantidades intensivas que se refieren a *sistemas diferentes* o a partes diferentes de un mismo sistema. Así, es erróneo sumar los valores numéricos de densidades de población, digamos, de Inglaterra y Australia. Pero, en cambio, tiene sentido calcular la tasa de crecimiento de la densidad de población de una determinada región, multiplicarla por el área de la región y, en general, someter esa magnitud a operaciones matemáticas. Si las magnitudes intensivas no pudieran someterse a ningún cálculo, no entrarían en la composición de las teorías científicas cuantitativas, como entran de hecho.*

La cuestión de si una determinada magnitud es aditiva o no respecto de la variable de objeto tiene que decidirse en última instancia por la experiencia, pero puede anticiparse por la teoría: no, ciertamente, por una teoría cualquiera, pero sí por una que sea lo suficientemente profunda. El punto esencial es éste: las magnitudes intensivas se refieren a

propiedades no-distributivas, no-hereditarias, o sea, *colectivas*. La densidad de población de un país no es lo mismo que la de todas las regiones que lo constituyen, y el concepto deja de ser aplicable cuando se considera un territorio reducido. Análogamente, es incorrecto hablar de la temperatura de una molécula: la temperatura es una propiedad estadística, una propiedad de cualquier amplia colección de objetos atómicos; lo mismo puede decirse de la solubilidad, del índice de refracción, de la permeabilidad magnética, de la renta *per cápita*, todas las cuales son magnitudes intensivas. La termodinámica clásica no podía establecer que la temperatura es una cantidad intensiva: tenía que suponer eso como dado, como una proposición empírica; pero la mecánica estadística muestra que la variable de objeto del functor de temperatura no puede ser más que una amplia reunión de microsistemas.

Esto completa nuestra exposición de la cuantificación numérica como operación conceptual. La cuestión suscita al menos tres puntos de interés filosófico: por qué estimamos tanto la cuantificación; si la cuantificación subyace a la medición, o al revés; y si hay propiedades intrínsecamente no cuantificables. La primera cuestión recibe fácilmente respuesta mediante una lista de las ventajas de la cuantificación. Esas ventajas son: (*i*) *afinamiento de los conceptos*: así, las magnitudes "cantidad de calor", "calor específico" y "temperatura" son otros tantos afinamientos del concepto ordinario de calor; (*ii*) *descripción precisa*: baste con pensar en la descripción de la evolución tecnológica a base del concepto de velocidad de la innovación técnica; (*iii*) *precisa clasificación*: piénsese en la agrupación de sujetos por lo que hace a su reacción a un determinado fármaco, cuando esa agrupación se hace sobre la base de una precisa función de distribución (cf. fig. 13.1); (*iv*) formación de *hipótesis y teorías exactas* estableciendo una interrelación precisa entre variables y fórmulas, posible con la ayuda de la matemática; (*v*) *contrastación rigurosa* de hipótesis y teorías.

Nuestro segundo problema se refiere a la relación entre la cuantificación numérica y la medición. Existe la difundida creencia de que la medición es el fundamento de la cuantificación o, por decirlo de otro modo, la idea de que (*i*) las propiedades cuantitativas se manifiestan en la medición, y (*ii*) la medición produce conceptos cuantitativos. Esa

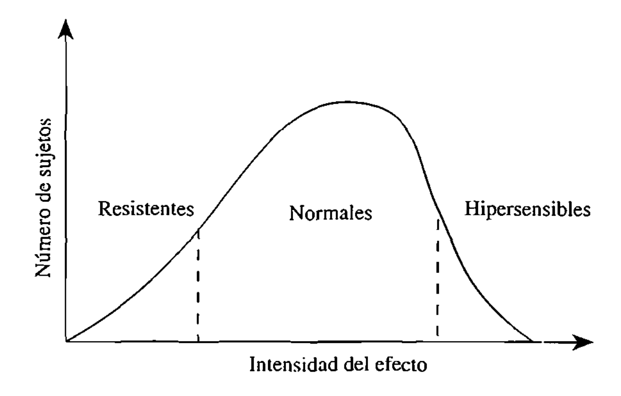


FIGURA 13.1. Una curva típica de la relación dosis-efecto. La curva (la función) produce la división de cualquier grupo de sujetos en resistentes, normales e hipersensibles.

creencia es errónea, como lo muestra la existencia de teorías cuantitativas en la matemática, la cual no tiene nada que ver con la operación empírica llamada 'medición'. Además, hay que disponer del concepto antes de poder atribuirle un número con la ayuda de una operación empírica; y también hace falta un poco de análisis lógico del concepto, si es que la medición ha de ser correcta. Tomemos, por ejemplo, el concepto de velocidad: hizo falta que los físicos se dieran cuenta de que la velocidad es un vector de tres componentes para que pudieran planearse mediciones precisas de la velocidad, aparte del caso elemental del movimiento rectilíneo. Medir una velocidad es, en efecto, atribuir un valor numérico a cada uno de sus componentes sobre la base de ciertas observaciones. Primero viene el concepto, luego la medición correspondiente: ese orden es aún más manifiesto si el objeto de medición resulta ser medible sólo indirectamente. Piénsese en la medición de la longitud de onda de la luz careciendo de la hipótesis de que la luz se mueve en ondas. Las mediciones medievales de diversos fenómenos fueron en su gran mayoría estériles porque les faltó el correspondiente y previo análisis conceptual. La cuantificación precede a la medición porque, por definición, medir es atribuir valores concretos a variable(s) numérica(s) de un *concepto* cuantitativo sobre la base de la observación.

La tercera cuestión filosófica que deseamos comentar está asociada con Galilei, el cual formuló la *Regla*: "Medir lo medible e intentar hacer medible lo que aún no lo sea." Es evidente que la historia de la ciencia es en parte la historia de la cuantificación de conceptos inicialmente cualitativos. Los problemas que aquí se plantean son: (*i*) ¿Es posible cuantificar *todo* concepto? y (*ii*) ¿Es deseable intentar la cuantificación de lo que es aún cualitativo? La primera pregunta está ya contestada para siempre, y precisamente de modo negativo: hemos visto antes que los conceptos individuales, como "Russell", y las relaciones no comparativas, como "está en", son no-cuantitativas. Se les pueden atribuir cifras (no números) de un modo convencional, pero eso no puede considerarse como una cuantificación propiamente dicha; por tanto, la atribución de esas cifras no es una medición. La cuestión de la deseabilidad de la cuantificación de lo aún cualitativo y que no es ni un individuo ni una relación no comparativa debe contestarse afirmativamente. Podría sin duda objetarse que propiedades determinadas, como masculinidad, no pueden recibir en atribución números más que de modo convencional: cualquier organismo de reproducción sexual es macho o hembra. Pero los biólogos se han visto obligados a ir más allá de esa dicotomía, introduciendo un concepto de grado de masculinidad: los biólogos pueden producir experimentalmente toda una gama de individuos de una determinada especie, como la mosca de la fruta, con varios grados de masculinidad. Aún más: no hay ninguna razón para negar que ese concepto, aún cualitativo, de grado de masculinidad pueda cuantificarse identificándolo con alguna proporción hormonal. Algo parecido ha ocurrido con el concepto de dureza: fue posible cuantificarlo en cuanto se descubrió su relación con algunas propiedades físicas más fundamentales.

Aún puede objetivarse, empero, que ese procedimiento no puede aplicarse a todas las ciencias del hombre. Parecería, según esto, erróneo decir que una persona está dos veces más asustada que otra. La razón sería que los sentimientos, deseos, etc., no pueden dividirse en partes, cada una de las cuales sea un sentimiento o deseo menos intenso. Pero todo el mundo ha experimentado temor en grados diversos; ¿por qué no intentar entonces la cuantificación de ese sentimiento? La realidad es que esa cuantificación puede

practicarse, al menos en principio, sobre la base de una relación, hoy día perfectamente conocida, entre el temor y el nivel o la concentración de adrenalina en la sangre: por tanto, esta variable bioquímica puede utilizarse como indicador cuantitativo objetivo del temor. La cuantificación de un concepto así sólo es imposible si nos aferramos a un planteamiento y una descripción superficiales del fenómeno; pero si se trae a colación el sustrato fisiológico de la vida psíquica –el sustrato que ignoran tanto el introspectivismo cuanto el conductismo–, entonces se encuentra a nuestra disposición todo un abanico de indicadores objetivos y cuantitativos Cosa parecida ocurre con el valor: si de verdad deseamos cuantificar y medir el valor tenemos que intentar correlatarlo con alguna propiedad cuantitativa o con algún conjunto de propiedades cuantitativas, en vez de seguir entendiéndolo como una noción básica e inanalizable. Supongamos que consiguiéramos cuantificar las necesidades o aspiraciones de los seres humanos por lo que hace, digamos a título de ejemplo, a los estímulos estéticos igual que cuantificamos nuestras necesidades de vitaminas. Podríamos entonces dar otro paso: convenir en definir el valor estético de un objeto x para un individuo y como la medida en la cual x satisface las necesidades estéticas de y. Se trataría de una fracción entre 0 (insatisfacción total) y 1 (satisfacción total). De este modo quedaría cuantificado el valor estético y, cosa aún dada por añadidura, quedaría cuantificado sobre la base de indicadores objetivos: por tanto sería medible en el sentido estricto antes estudiado. La inexistencia de teorías cuantitativas en el terreno de la estética o, en todo caso, la inexistencia de teorías satisfactorias dotadas de esas características, no prueba la imposibilidad lógica de las mismas, ni tampoco su incontrastabilidad empírica: el hecho puede deberse a una larga tradición de pensamiento laxo, así como a la errónea idea de que la cuantificación y, en general, la matematización están esencialmente vinculadas al tema. Una vez que nos hemos dado cuenta de que no es el tema, la materia, sino nuestras *ideas* sobre ellos las que son objeto de cuantificación numérica, no quedan barreras insuperables que oponer a la cuantificación.

Atendamos ahora a la atribución real de números sobre la base de procedimientos empíricos, o sea, a la medición.

Problemas

13.1.1. Analizar la cuantificación de algún concepto científico. *Problema en lugar de ése*: Cuantificar algún concepto tratado hasta ahora como no cuantitativo, tal como la anomía o la marginalidad.

13.1.2. ¿Son las magnitudes físicas empíricas en el sentido de que denoten nuestras experiencias sensibles o en el sentido de que puedan ser objeto de procedimientos empíricos? Comparar la sensación de calor con el concepto de temperatura. Tener en cuenta fenómenos como el siguiente: La taza de vidrio colocada encima de una mesa de madera se siente como más fría que la mesa misma, aunque estén a la misma temperatura. La temperatura no depende del estado de nuestras manos ni de las conductividades térmicas de las cosas, propiedades que, en cambio, determinan las sensaciones de frío y de calor.

13.1.3 ¿Por qué la densidad de la mezcla de dos sistemas líquidos no es igual a la suma de sus respectivas densidades?

13.1.4. Tomar un enunciado legaliforme cualquiera y mostrar qué variables y parámetros del mismo son extensivos y cuáles son intensivos.

13.1.5. Examinar los indicadores siguientes: (*i*) La importancia de la domesticación de plantas en un determinado lugar puede estimarse sobre la base del número de especies cultivadas y el número de especies silvestres en dicha región, o sea: $D = C/(C + S)$. Lo mismo vale para la importancia de la domesticación de animales. (*ii*) La intensidad de la difusión cultural, o sea, la intensidad de los contactos interculturales, puede cuantificarse entendiéndola como la razón I/C del número de objetos intercambiados (importados y exportados) al número total de objetos consumidos en una determinada región durante un periodo unidad. *Problema en lugar de ése*: Discutir el coeficiente de semejanza biológica introducido por P. H. A. Sneath y R. R. Sokal en "Numerical Taxonomy", *Nature*, *193*, 855, 1962.

13.1.6. Examinar la determinación genética de la afinidad entre especies. *Problema en lugar de ése*: Informar acerca de cualquier planteamiento cuantitativo del estudio de la personalidad. Cf., por ejemplo, S. E. Asch, "Studies of Independence and Conformity", *Psychological Monographs*, núm. 416, 1956.

13.1.7. Estudiar la posibilidad de cuantificar la innovación o cualquier otra variable importante para las ciencias del hombre. *Problema en lugar de ése*: Examinar la posibilidad de que los fracasos de los psicólogos en el intento de medir algunos rasgos y actitudes se deba a que no los han analizado en componentes más simples, tal vez acaso porque no se hayan dado cuenta de su complejidad, o ni siquiera de la necesidad de empezar con un análisis conceptual, y no directamente con procedimientos empíricos.

13.1.8. Discutir la introducción de términos pseudocuantitativos, como 'cantidad de energía psíquica', 'volumen de la excitación', 'nivel de excitación', 'fuerza inconsciente', 'interacción motivacional', y otros más utilizados para dar a doctrinas pseudocientíficas un perfumado baño científico. Empezar por precisar la(s) condición(es) que debe cumplir un término para designar un *genuino* concepto cuantitativo. Establecer luego la(s) condición(es) de la aplicación de conceptos cuantitativos. Y observar, finalmente, si ciertos términos muy usados en las ciencias del comportamiento y en las pseudociencias que discurren del mismo satisfacen esas condiciones. Véase M. Bunge, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, Transaction, 1999, cap. 4.

13.1.9. Examinar la opinión de que una disciplina puede utilizar *procedimientos* cuantitativos, con objetivos eminentemente prácticos, sin necesidad de usar por ello *conceptos* cuantitativos. Cf. A. C. Crombie, "Quantification in Medieval Science", *Isis*, 52, pt. 2, 143, 1961, y H. Guerlac, "Quantification in Chemistry", *ibid.*, 198, 1961. *Problema en lugar de ése*: Examinar la opinión según la cual es posible establecer una teoría general, básica y *a priori* de las magnitudes de una determinada clase, por ejemplo, de las magnitudes extensivas. Algunas teorías así (llamadas 'teorías de la medición') han sido ya presentadas por matemáticos, lógicos y psicólogos, basándose todos en el supuesto de que las leyes de las combinaciones de magnitudes (como la asociatividad, la conmutatividad y la aditividad) son puramente matemáticas y, por tanto, independientes de las leyes sustantivas (factuales) que se presentan en la ciencia factual. ¿Son realistas esas teorías? Es decir: ¿son aplicables a las teorías científicas existentes? ¿Y puede construirse una verdadera teoría de la medición sin la ayuda de teorías sustantivas fundamentales? Tómese el caso de la física, que contiene tantas teorías de la medición cuantas teorías de sistemas físicos sustantivos y distintos.

13.1.10. Analizar la doctrina operacionalista según la cual la medición produce conceptos cuantitativos y es por ello la base de toda teoría, creencia que subyace a la práctica común de empezar los textos de física hablando de mediciones. *Problema en lugar de ése*: Examinar la creencia, difundida entre los epistemólogos, de que todas las magnitudes básicas (primitivas) deben ser extensivas debido a que sólo éstas pueden medirse directamente. Tómese en cuenta la mecánica de los medios continuos y las teorías de campos.

13.2. VALOR MEDIDO

La cuantificación numérica es un proceso por el cual una fórmula cualitativa, como "$P(x)$", se sustituye por una fórmula cuantitativa, como "$P(x) = y$", en la cual x es un objeto genérico (un individuo o una clase), e y es un número genérico. Cuando se atribuye un valor individual de y a una determinada propiedad de un determinado objeto con la ayuda de la observación, se lleva a cabo la operación empírica llamada medición. Por ejemplo, comparar el peso de un determinado cuerpo con el peso de un cuerpo estándar o patrón es medir el valor del peso $P(x) = p$, de ese objeto determinado c. Lo medido –el *mensurandum*– es siempre un valor particular de una variable numérica de un concepto cuantitativo (magnitud) que representa una propiedad de algún sistema concreto.

En la anterior caracterización de la medición hemos distinguido tres conceptos: (*i*) una *propiedad*, como la altura, que se supone objetivamente gradual; supongamos que '$\dot{r}$' designa los grados, cantidades en sentido vulgar o intensidades de una determinada propiedad, y $\dot{R}$ el conjunto de valores de $\dot{r}$. (*ii*) *Los valores medidos* de los grados $\dot{r}$; los llamaremos $m(\dot{r})$, y $\{m(\dot{r})\}$ al conjunto correspondiente de los valores medidos. (*iii*) Los *valores numéricos* de la magnitud que representa la propiedad; hagamos que 'r' designe esos números y R el conjunto de los r. Cf. tabla 13.1.

TABLA 13.1
EL MENSURANDUM Y SUS ESTIMACIONES

Entidad	*Símbolo*	*Ejemplo*	*Nivel*
Mensurandum (grado de una propiedad)	$\dot{r}$	varilla ←longitud→	Realidad
Valor medido de una propiedad	$m(\dot{r})$	$(100 \pm 0{,}1)$ cm	Experiencia
Valor numérico de una propiedad	r	100 cm	Teoría

Mientras que de la cantidad (en sentido vulgar) $\dot{r}$ suele suponerse que es un rasgo de un fragmento de realidad, su estimación empírica $m(\dot{r})$ es el resultado de un acto de medición, y r es un componente de un concepto teorético. Algunos $\dot{r}$ son perceptibles: son rasgos objetivos, independientes de la conceptualización y de la medición. En cambio, los $m(\dot{r})$ y los r son números. Por ejemplo, $\dot{r}_1$ y $\dot{r}_2$ pueden ser dos alturas perceptiblemente diversas, y $m(\dot{r}_1)$ y $m(\dot{r}_2)$ sus valores (aproximados) correspondientes, obtenidos con la ayuda del valor numérico presente en el concepto cuantitativo "altura". En las teorías científicas se encontrarán valores r, no valores $m(\dot{r})$, pero unos y otros representan el mismo conjunto de valores $\dot{r}$ (si el proceso de medición no modifica apreciablemente el mensurandum). Las anteriores distinciones pueden parecer artificiales, pero se hacen a menudo en la ciencia y tienen un profundo alcance filosófico.

Ejemplo 1. Consideremos un delgado cuadrado material de acero o de cualquier otra sustancia. Una simple representación conceptual de esa cosa es un cuadrado geométrico, por ejemplo, de lado unidad. Este modelo ideal desprecia, ciertamente, todas las irregularidades de los ángulos y la superficie del cuadrado material; pero de todos modos es el modelo conceptual, y no la cosa misma, el que podría integrarse en una teoría científica (por ejemplo, en la estática). El teorema pitagórico da $\sqrt{2}$ como longitud de cada una de las diagonales del cuadrado. Los dos números, 1 y $\sqrt{2}$, son números r, que representan cada uno una determinada cantidad $\dot{r}$, a saber, el lado y la diagonal del cuadrado real. Supongamos ahora que se adopte una escala de longitud, 's' y se tomen mediciones de los dos mensuranda con un expediente que dé un error de 2 por mil (o sea, de dos milímetros por metro). Los resultados de las mediciones serán entonces los siguientes datos:

$$m(\text{lado del cuadrado}, s) = 1 \pm 0{,}002$$
$$m(\text{diagonal del cuadrado}, s) = 1{,}414 \pm 0{,}003$$

expresiones en las cuales 's' designa la escala y unidad adoptadas para los fines perseguidos. El primer enunciado puede leerse de varios modos equivalentes: 'El valor medido del lado del cuadrado se encuentra entre 0,998 y 1,002 unidades s' 'El valor medido en unidades s del lado del cuadrado es un número desconocido del intervalo [0,998, 1,002]', 'El valor más probable del lado medido del cuadrado es 1 unidad s con un error del 2/1000', etc. Lo mismo vale del segundo enunciado. Obsérvese ante todo la incertidumbre o laxitud peculiar a los valores de medición $m(\dot{r})$, rasgo que no se encuentra en cambio en los valores teoréticos r. En segundo lugar, obsérvese que el valor medio, 1,414, obtenido para la diagonal puede expresarse como una fracción, a saber, 1414/1000, próxima a 43/3. Toda medición da un número fraccionario, mientras que los valores teoréticos pueden ser irracionales (no-fraccionarios), como en el caso del valor r o teorético $\sqrt{2}$ para la diagonal del cuadrado.

Ejemplo 2. Es una plausible hipótesis de la teoría del electrón la idea de que la carga eléctrica de todo electrón del universo es la misma, independientemente de su interacción con el resto del mundo. Pero si se miden las cargas de cualquier par de electrones, o incluso si se mide dos veces la carga de un mismo electrón, lo más probable es que se obtengan valores ligeramente diferentes. Dicho de otro modo: puede ser que se obtenga cierto número de valores $m(\dot{r})$ diferentes para lo que se supone ser un solo valor r que refleja una sola cantidad $\dot{r}$.

Ejemplo 3. Supongamos que deseamos estimar la importancia de la domesticación de animales en una determinada comunidad prehistórica. Lo primero que tenemos que hacer no es emprender precipitadamente viaje a la estación prehistórica, sino sentarnos a inventar un concepto cuantitativo de grado de domesticación de animales. Un tal índice puede ser la razón del número de animales domesticados al número total de animales, domesticados y salvajes, que consume cualquier comunidad en un determinado periodo. Con símbolos de comprensión obvia: $I = (D/D + S)$. (Recuérdese el problema 13.1.5.) Para medir el valor de ese índice para una determinada comunidad –por ejemplo, una que vivió en una determinada caverna en algún momento dado– tendremos que contar el número de huesos de animales domésticos y animales salvajes hallados en la caverna y

realizar al final las operaciones aritméticas indicadas en la fórmula del índice de domesticación animal. El valor hallado de ese modo no será una medida muy fiable del grado de domesticación animal alcanzado por nuestros antepasados: puede perfectamente haber ocurrido que las especies domésticas tuvieran más (o menos) huesos que las especies salvajes, o que sus huesos fueran más duros (o más blandos) y, consiguientemente, se conservaran mejor (o peor) que los otros, o que la mayoría de los animales domésticos no se sacrificaran, sino que se ordeñaran o esquilaran, etc. En cualquier caso, es concebible que el cómputo de los huesos no suministre una estimación enteramente fiable del efectivo valor del grado de domesticación animal. Puede acaso construirse entonces otro índice, u otra técnica diferente de medición, pero mientras tanto es posible que no tengamos medios mejores para estimar la importancia de la domesticación de animales en los tiempos prehistóricos. Así pues, los valores medios pueden diferir de los valores reales. Consiguientemente, los enunciados sobre valores medidos pueden diferir de los enunciados sobre valores reales. Una posible fuente de discrepancia es el *error* supuesto en la mayoría de las operaciones de medición, error del cual sólo pueden considerarse exentas las más sencillas operaciones de contaje o cómputo; este error es peculiar a la técnica empleada en cada caso. Según esto, la forma típica de los datos de medición, o sea, de las proposiciones que se refieren a resultados de medición, no es "$m(\dot{r}, s) = r$", sino

$$m(\dot{r}, s) = p/q \pm \sigma \qquad [13.4]$$

en la cual p y q son enteros y $\sigma \geq 0$ es el error. Otra fuente posible de discrepancia entre valores reales y valores medidos es que, mientras que los primeros pueden ser números irracionales –o sea, números reales r, tales que, para todo par de enteros p y q, $r \neq p/q$–, en cambio, todo valor medido es un número *racional* (fraccionario). Esta limitación no puede evitarse, pues nace del acto mismo de medición, el cual supone la comparación de una cantidad $\dot{r}$ con una unidad de la misma propiedad. Los valores irracionales, que en la teoría son de suma importancia, resultan empíricamente inaccesibles: la medición no da más que *aproximaciones fraccionarias* más o menos groseras a los valores reales. Una ciencia estrictamente empirista tendría que usar exclusivamente números racionales, porque sólo éstos pueden obtenerse en la operación efectiva (empírica) de medición: todos los demás son objeto de hipótesis. Pero una tal ciencia que evitara las variables continuas se vería imposibilitada de utilizar el álgebra y el cálculo infinitesimal, pues una y otro utilizan el continuo de los números reales. Por tanto, una ciencia estrictamente empirista no habría rebasado el nivel alcanzado por los científicos en el siglo XVI.

La discrepancia entre valores actuales, reales, y sus estimaciones empíricas es en la mayoría de los casos desconocida e *incognoscible*: lo más que podemos hacer es estimar límites más allá de los cuales resulta extremadamente improbable que se encuentre la discrepancia. Dicho brevemente: la diferencia $\Delta = r - m(\dot{r})$ es en la mayoría de los casos incognoscible. (Lo único que puede calcularse –por medio de la definición $\varepsilon_i = m_i(\dot{r}) - \bar{m}(\dot{r})$– es el error ε_i de una medición individual $m_i(\dot{r})$ respecto de un valor "exacto" $\bar{m}(\dot{r})$. En la expresión anterior $\bar{m}(\dot{r})$ resulta ser en la práctica una media de anteriores valores de medición o un valor teorético.) Esa incognoscibilidad es una de las razones por las cuales los empiristas evitan las expresiones 'valor real', 'valor actual', 'valor efecti-

vo'; pero no se matan monstruos por el procedimiento de no hablar de ellos. La discrepancia tiene que admitirse o sospecharse si es que deseamos entender (*i*) por qué diferentes técnicas de medición pueden dar estimaciones diferentes de lo que la teoría supone ser un solo valor, y (*ii*) por qué la aparición de nuevos procedimientos (técnicas) de medición de los valores de una determinada cantidad pueden constituir un importante progreso científico.

Tomemos, por ejemplo, las varias técnicas existentes para medir la velocidad de la luz en el vacío, $\dot{c}$: todas ellas dan valores ligeramente discrepantes. A medida que se inventan técnicas nuevas de medición se obtienen nuevos valores c: no sólo más decimales, sino incluso a veces nuevos resultados que afectan a decimales importantes de anteriores resultados. ¿Inferiremos de ello que la velocidad de la luz se ha alterado desde las anteriores mediciones, de tal modo que las diversas operaciones suministran diferentes valores reales? Esta conjetura –la de que la velocidad de la luz cambia con el curso del tiempo– se ha propuesto efectivamente. Pero es una hipótesis completamente infundada: no hay indicación alguna ni en la teoría de la luz ni en la cosmología, de que esos cambios de los valores medidos reflejen un cambio real. Consiguientemente, es más razonable: (*i*) rechazar el supuesto filosófico de que no hay más que valores medidos, y (*ii*) suponer que lo que ha cambiado en el curso del tiempo han sido los valores medidos de $\dot{c}$, la cual es una constante universal aproximadamente conocida por esas mediciones. Dicho brevemente: $\dot{c}$ es incognoscible, pero, gracias a varios instrumentos empíricos y teoréticos, obtenemos varias estimaciones. En general, toda técnica de medición T_n suministra un valor peculiar $m_n(\dot{c})$ (que es en realidad una media $\overline{m}_n(\dot{c})$) de cualquier constante dada, o un peculiar conjunto $m(\dot{r})$ de valores de un determinado conjunto R de valores de un conjunto $\dot{R}$ de grados de una determinada propiedad. Esperamos –sin poderlo garantizar– que la secuencia de valores medidos, a la larga, *convergirá con los valores reales* desconocidos. (Cf. fig. 13.2.) Esos varios valores no obedecen ley alguna, y nuestro único funda-

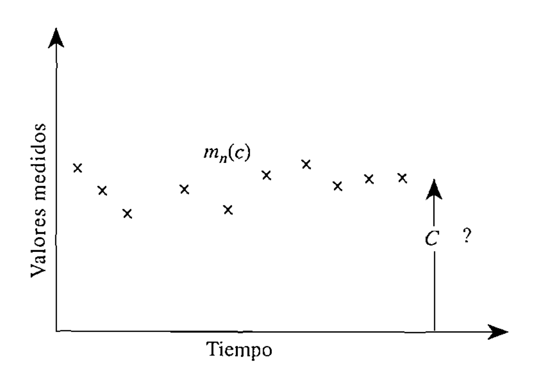


FIGURA 13.2. Una secuencia temporal imaginaria de los valores medidos, $m_n(c)$, de una constante $\dot{c}$, obtenidos utilizando sucesivamente técnicas perfeccionadas.

mento para esperar que converjan con el valor real es que nos esforzamos por realizar esa esperanza. Nuestra ignorancia del valor actual c y nuestra esperanza de acercarnos cada vez más a él no son, a su vez, sino motivos para intentar la tarea con nuevas técnicas de medición. Afirmar que el valor de una propiedad dada *es* el valor suministrado por

una serie de mediciones –o sea, afirmar que en todo caso $m(\dot{r}) = r$, o incluso que no existe un mensurandum objetivo $\dot{r}$ del que $m(\dot{r})$ sea un valor aproximado– es despreciar la entera historia de la ciencia. La facilidad con la cual puede ignorarse efectivamente la historia de la ciencia explica la frecuencia con que se presenta aquella creencia.

Como una medición es un proceso físico, y un proceso físico que supone por lo menos un sistema macroscópico (el dispositivo de medición), y como no hay dos cosas idénticas a nivel macroscópico (cf. sec. 6.1), es improbable que se obtengan nunca dos resultados de medición idénticos. Se producirán ligeros cambios en el mensurandum, en el instrumento y en el medio ambiente de ambos, y, consiguientemente, los resultados numéricos diferirán, aunque sea poco. Dicho de otro modo: los resultados de cualquier tanda de mediciones cuidadosas son diferentes porque todos los sistemas implicados en esos procesos están sometidos a perturbación; del mismo modo que Heráclito no podía bañarse dos veces en *el mismo* río, así tampoco nosotros podemos medir dos veces la *misma cosa* con *el mismo* aparato. Por eso necesitamos representaciones de series enteras de mediciones, para que absorban las diferencias individuales y tengan alguna estabilidad. Uno de esos representantes estables de una tanda de mediciones de un mensurandum dado es la media o promedio. Sea $m_i(\dot{r})$ el i-ésimo valor medido del mensuradum $\dot{r}$. Un conjunto de números de esa clase será el resultado bruto de una serie de N mediciones. No es probable que se adopte ninguno de ellos: lo que en última instancia se adopta es una construcción lógica obtenida a partir de esos números, a saber, la *media* de todos ellos:

$$\bar{m}(\dot{r}) = \frac{m_1(\dot{r}) + m_2(\dot{r}) + \ldots + m_n(\dot{r})}{N} \qquad [13.5]$$

En la práctica, el experimentador suele adoptar la *Regla siguiente*: Tomar como estimación del valor real de un mensurandum la media de una larga secuencia de mediciones precisas del mismo. La regla no es arbitraria, sino fundada: puede, en efecto, mostrarse que los errores casuales de medición se distribuyen simétricamente en torno de la media, esto es, que tienden a *compensarse* los unos a los otros a plazo largo y a disponerse en haz alrededor de la media, la cual es un valor relativamente estable. El valor medio es, pues, el más probable; por eso se le llama también valor exacto, pero propiamente es sólo una *estimación* del valor exacto, el cual es en sí mismo una incógnita desconocida en muchos casos.

En suma, tenemos que distinguir los tres siguientes conjuntos de números asociados con un mismo mensurandum $\dot{r}$: (*i*) su valor *real*, pero desconocido, r, o sea el valor numérico que tiene la cantidad o porción $\dot{r}$ independientemente de nuestras mediciones; (*ii*) los varios resultados particulares, $m_i(\dot{r})$, de mediciones cuidadosas (pero siempre imperfectas) de $\dot{r}$, o sea, los varios *valores medidos particulares* de $\dot{r}$; y (*iii*), el *valor más probable*, $\bar{m}(\dot{r})$, igual a la media de los valores individuales obtenidos en una determinada serie de mediciones hechas con óptimos medios (disponibles: tanto instrumentos cuanto técnicas) y en circunstancias de control óptimo. La media es el valor generalmente aducido como *el* valor medido del mensurandum. En la práctica (*i*) es improbable hallarlo a base de medición: es el resultado de una operación conceptual hecha sobre resultados de

mediciones; y (*ii*) no es un número solo, sino un par de números: la media propiamente dicha, $\bar{m}$, y el error, σ, o dispersión en torno del promedio. Ese par de números suministra una caracterización estadística o colectiva de un conjunto de mediciones. Lo que se introduce en una teoría es el valor central $\bar{m}$.

La media $\bar{m}$ se llama a menudo el *valor verdadero,* pero ese nombre está fuera de lugar: no conocemos el valor verdadero, y si lo conociéramos para un mensurandum dado no seguiríamos intentando mejorar las correspondientes técnicas de medición. Todo lo que sabemos es que el llamado valor verdadero (o exacto) suministra *la mejor estimación disponible* del valor real *r*. El valor real o actual *r* es probablemente próximo a $\bar{m}(\dot{r})$, es probable que se encuentre entre $\bar{m}(\dot{r}) - \sigma$ y $\bar{m}(\dot{r}) + \sigma$, e improbable que caiga fuera de ese intervalo; pero la única certeza, la única tranquilidad que puede tenerse al respecto es esa afirmación probabilitaria más la esperanza de que futuros esfuerzos por ahora ni siquiera imaginados pueden reducir el margen de error.

Ahora que hemos conseguido alguna claridad acerca de la diferencia entre una magnitud y su medición, así como de las complejidades de esta última, podemos echar un vistazo a la clase más simple de medición: el cómputo.

Problemas

13.2.1. La proposición "La altura de este cuerpo es 2", ¿es un aceptable informe de medición?

13.2.2. Supongamos que la carga eléctrica de un corpúsculo, calculada por algún procedimiento de medición, resulta ser de 10,1 cargas electrónicas. Calcular el error sabiendo que, según nuestro actual conocimiento, las cargas eléctricas se presentan en unidades, las cuales son precisamente las cargas electrónicas.

13.2.3. Una gran rueda, o un gran volante, como el aparato de los barquilleros, lleva inscritas en su borde cifras al azar. Imprimimos un movimiento giratorio a la rueda y, al detenerse ésta, una de esas cifras queda en cada caso bajo un índice fijo; leemos la cifra y la registramos. ¿Constituye eso un aparato de medición? ¿Es una medición esa atribución de cifras a acontecimientos físicos?

13.2.4. Comentar la siguiente afirmación de E. Schröedinger en *Science: Theory and Man*, Nueva York, Dover Publications, 1957, p. 73: "Por lejos que vayamos en la búsqueda de precisión, no conseguiremos nunca más que una serie finita de resultados discretos, los cuales son *a priori* resultados puestos por la naturaleza del instrumento. [...] toda medición es una interrogación dirigida a la naturaleza, y somos nosotros los que hemos dispuesto por anticipado un número finito de respuestas, imponiendo siempre a la naturaleza la situación de un elector ante unas pocas posibilidades de elegir".

13.2.5. Comparar los enunciados siguientes del teorema de Pitágoras para un triángulo rectángulo de lados *a*, *b* y diagonal *c*:

$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$ (Geometría euclídea pura)

$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$, con $l(a, b, c)$ = lados de un triángulo compuesto por rayos de luz. (Geometría euclídea física teórica)

$m(c) = \sqrt{[m(a)]^2 + [m(b)]^2} \pm \varepsilon$ (Geometría experimental)

13.2.6. Analizar la definición, tan copiada y citada, que propone N. R. Campbell en *Foundations of Science*, Nueva York, Dover Publications, 1957, p. 267: "La medición es el proceso que consiste en atribuir números para representar cualidades." ¿Describe esa proposición la medición propiamente dicha o más bien la cuantificación? Recordar lo dicho en la sec. 13.1.

13.2.7. Discutir la tesis de M. Born y otros autores según la cual la ciencia es en el fondo estadística porque la medición exacta incluye un error casual sujeto a una ley estocástica. Indicación: mantener con claridad la distinción, entre referencia y evidencia. *Problema en lugar de ése*: Analizar la opinión según la cual la elección del valor medio como estimación del valor verdadero es una decisión esencialmente convencional (infundada).

13.2.8. Examinar la versión contemporánea de la filosofía de Berkeley que podría resumirse en la máxima tácita, pero muy ampliamente seguida, "Ser es ser medido". Cf. M. Bunge, *Metascientific Queries*, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 1959, cap. 8.

13.2.9. Discutir la tesis kantiana de que no tiene interés adoptar la hipótesis de la existencia de las cosas en sí mismas, como, por ejemplo, nuestros grados $\hat{r}$ y los correspondientes valores reales, r, que son incognoscibles.

13.2.10. Cada resultado de medición macroscópica es en la práctica una media basada en un volumen y tomada a lo largo de un intervalo temporal. ¿Por qué entonces tenemos que promediar tales promedios.

13.3. CÓMPUTO

Contar es la operación básica de medición, puesto que, en último análisis, hasta la medición de valores de una magnitud continua, como el tiempo, consiste en contar cierto número de unidades de dicha magnitud. En algunas ciencias, particularmente las sociales, contar sigue siendo el principal modo de medir.

Contar o computar es establecer una correspondencia biunívoca entre el conjunto de objetos que hay que contar y un subconjunto de los enteros positivos. (Cf. fig. 13.3.) El orden en que se establezca esta correspondencia es irrelevante: lo único que nos interesa al contar es el miembro mayor del conjunto de los números naturales coordinado con el conjunto dado. Esto supone que el proceso de contar no afecta a la numerosidad del conjunto inicial; o bien, que si la afecta (porque para discriminar entre los miembros de un conjunto dado tengamos que ejercer alguna influencia sobre ellos), el cómputo presupone que hay medios para estimar los cambios introducidos en el número por el proceso del cómputo.

Conjunto de objetos	o	o	o	o	o	o
	↕	↕	↕	↕	↕	↕
Conjunto de enteros	1	2	3	4	5	6

FIGURA 13.3. Cómputo: Una correspondencia biunívoca entre el conjunto contado y un subconjunto de los números naturales.

El conjunto que hay que contar puede ser no empírico, como ocurre con el conjunto de los conceptos primitivos de una teoría. En este caso no consideraremos el proceso del cómputo como una medición, porque no contendrá ninguna operación empírica propiamente dicha. El cómputo se convierte en una operación empírica cuando se refiere a una colección material, como un conjunto de signos o un conjunto de escalofríos. Puede argüirse, sin duda, que incluso el cómputo de objetos ideales es una operación empírica, puesto que supone la existencia y la actividad de una persona que recorre con el pensamiento la experiencia de coordinar dos conjuntos de ideas. Pero no nos interesa aquí esa amplia noción de experiencia: dejaremos de lado la experiencia interna y restringiremos nuestra atención al *cómputo empírico*. Ésta es una operación que requiere la asistencia de los sentidos y, acaso, la de instrumentos especiales, como contadores, y la de teorías especiales, como la de la ionización de la materia por el paso a través de ella de corpúsculos eléctricamente cargados.

Para que una colección de hechos sea empíricamente *contable* tiene que consistir en miembros empíricamente distinguibles. Un sistema físico continuo, como el campo gravitatorio que llena nuestro cuarto de trabajo, no es discreto y, por tanto, no tiene partes naturales (separadas sin artificialidad) que puedan contarse: constituye un conjunto no numerable. Pero la distinguibilidad de los miembros de un conjunto material no es bastante para obtener el objeto del cómputo: su separación, además, tiene que ser empíricamente accesible, esto es, tiene que ser posible distinguir entre sus elementos ya mediante los sentidos, ya con la ayuda de instrumentos especiales.

La discriminación de que se trata es cosa sencilla cuando están en cuestión cosas de tamaños medios, pero se convierte en un problema difícil en los dos extremos de la escala de tamaños. Por lo que hace al cómputo de objetos astronómicos, baste con recordar que hasta hace un par de siglos no eran computables más que los astros comunes: no se habían analizado las estrellas binarias en sus componentes y no se habían ni siquiera "observado" las nebulosas, en parte a causa de la débil resolución instrumental, en parte porque los astrónomos no estaban intelectualmente preparados para percibirlas: no habrían imaginado que pudiera existir una cosa así, porque pensaban según el concepto del astro separado y simple. La situación es aún más difícil en el extremo microscópico de la escala, como se verá por el ejemplo siguiente.

Consideremos un sistema compuesto por dos partículas de la misma clase a las cuales no son accesibles más que dos estados. Problema: contar el número de distribuciones posibles de esos dos objetos entre los dos estados. Dicho de otro modo: contar el número de estados posibles en que puede encontrarse ese universo en miniatura. Lo que se plantea aquí no es un juego con descripciones de estado (cf. sec. 12.5), sino un genuino y difícil problema teorético que, sorprendentemente, admite tres soluciones diferentes (cf. fig. 13.4). Primera solución: si las dos partículas son diferentes y, por tanto, distinguibles en principio, como dos bolitas, hay cuatro posibilidades: las dos bolitas se encuentran en el estado 1, las dos en el estado 2, una en el estado 1 y la otra en el estado 2, y a la inversa. Segunda solución: si las partículas son idénticas, esto es, si no tienen individualidad, es imposible etiquetarlas y, por tanto, no habrá más que una situación en la cual cada partícula puede ocupar un estado diferente; éste es el caso, por ejemplo, de los átomos de helio y demás "bosones". Tercera solución: si las partículas no son meramente idénticas sino

Estado 1 a b a b (*i*)
Estado 2 a b a b

Estado 1 (*ii*)
Estado 2

Estado 1 (*iii*)
Estado 2

FIGURA 13.4. El resultado de contar en su dependencia respecto de la naturaleza de los objetos afectados. (*i*) Partículas no idénticas: 4 posibilidades. (*ii*) Partículas idénticas: 3 posibilidades. (*iii*) Partículas idénticas y mutuamente excluyentes: 1 posibilidad.

que, además, cada estado no puede ser ocupado más que por una sola partícula, entonces no hay más que una combinación posible: una partícula en cada estado; éste es el caso de los electrones y demás "fermiones". Así pues, nuestra cuestión inicial ha recibido tres respuestas que no dependen de la aritmética ni de la capacidad resolutiva de los microscopios, sino de la *naturaleza de los objetos* contados, esto es, de leyes físicas. Primera moraleja: antes de contar alternativas físicas –por ejemplo, estados físicamente posibles o movimientos posibles– hay que precisar sobre qué entidades deben contarse, y hay que basar esa decisión sobre una consideración de la naturaleza de los objetos afectados. Si no se hace así, existe la posibilidad de contar la misma alternativa dos o hasta más veces. Esta regla, que ahora parece obvia, no se adquirió hasta finales de los años 20 de este siglo. Segunda moraleja: no puede haber reglas o axiomas de cómputo que sean universales, esto es, independientes de la materia contada: lo contado cuenta tanto como el modo de contarlo.

El cómputo puede ser *directo* o *indirecto,* según que el conjunto que hay que contar conste o no de elementos perceptibles y computables en un lapso de tiempo admisible. Científicamente, el caso más importante de cómputo directo es el de los intervalos temporales. Las mediciones de tiempo no son, en efecto, sino un cómputo de acaecimientos periódicos (recurrentes) de una determinada clase. En principio, lo único que se necesita para un cómputo de esa naturaleza es una teoría que justifique el supuesto básico de que tales acaecimientos son efectivamente periódicos. Expedientes superficiales, extensos (como las esferas de relojes) y, por tanto, mediciones de longitud, no se introducen para la medición del tiempo sino por razones exclusivamente prácticas. (La cuestión filosófica de la naturaleza del tiempo es de suma importancia, pero difícilmente servirá para aclararla una discusión de las técnicas de medición del tiempo, cuestión que no plantea más que problemas, precisamente, técnicos.)

Desde el punto de vista filosófico los casos más interesantes son sin duda los de cómputo indirecto, o sea, los de cómputo realizado con la ayuda de fórmulas legaliformes y de definiciones. Los corpúsculos de la sangre se cuentan indirectamente por razones prácti-

cas: sería un superfluo despilfarro de tiempo y de esfuerzo el contarlos directa, individualmente, a causa de su número y a causa de que aún no es fácil ponerlos de manifiesto. En los casos de los corpúsculos de la sangre, de las estrellas y de muchas otras cosas visibles se utilizan fórmulas estadísticas junto con la técnica del muestreo. En los casos de los átomos, los choques atómicos y otras cosas y acaecimientos invisibles, la estadística desempeña también un cierto papel, pero las fórmulas esenciales son hipótesis sustantivas, no metodológicas. Examinemos brevemente esos dos procedimientos de cómputo indirecto.

Para computar el número total de glóbulos rojos de un determinado individuo se toma una pequeña muestra de su sangre sobre el supuesto de que será una *muestra al azar*, o sea, de que el procedimiento de extracción no habrá influido en la concentración, de tal modo que la muestra será una representación fiable de la población entera. Luego se pueden aplicar varias técnicas a esa muestra: desde el cómputo efectivo de los glóbulos rojos de la muestra con la ayuda del microscopio hasta el uso de algún dispositivo automático construido sobre la base de ciertas leyes sobre la migración de glóbulos rojos en un campo eléctrico. Existe además una técnica intermedia, que puede considerarse como un típico procedimiento de muestreo: se estima el volumen total V de la sangre del sujeto sobre la base de alguna generalización empírica (como la correlación peso-volumen de sangre), y también de datos como el peso del sujeto. Luego se mide el volumen v de la muestra de sangre para averiguar el número total, N, de corpúsculos rojos por medio de la fórmula $N = n.V/v$, en la cual 'n' designa el número de corpúsculos presentes en la muestra. (La hipótesis "$n/N = v/V$", que es verdadera para una gotita, será falsa para una millonésima parte de la misma.) Como la muestra es en esa fase demasiado grande, se diluye en una cantidad conocida de agua y se toma para la observación efectiva una sola gota de esa solución, lo cual implica la suposición de que el proceso de dilución no ha producido acumulaciones ni rarefacciones locales; la segunda muestra es, con base en ese supuesto, tan representativa como la primera. Luego se estima el número de glóbulos presentes en la gota, computando el número de los mismos que se encuentran en un área conocida de la gota y suponiendo también la distribución uniforme. (Cf. fig. 13.5.) El número total de corpúsculos de la muestra se computa a partir de ese resultado y de la razón entre los volúmenes. Del mismo modo se infiere el número total de corpúsculos de la sangre del sujeto. Las hipótesis e inferencias que funcionan en los procedimientos por

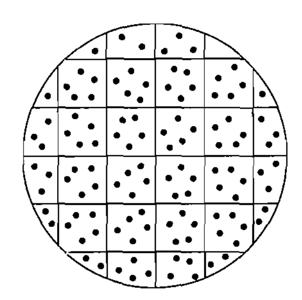


FIGURA 13.5. Cómputo de los glóbulos rojos presentes en un volumen conocido integrado por unas pocas docenas de cavidades cuadradas.

muestreo suelen ser sencillas, pero inciertas, sobre todo cuando la muestra es pequeña; en cualquier caso, son tan importantes como el cómputo en sentido literal.

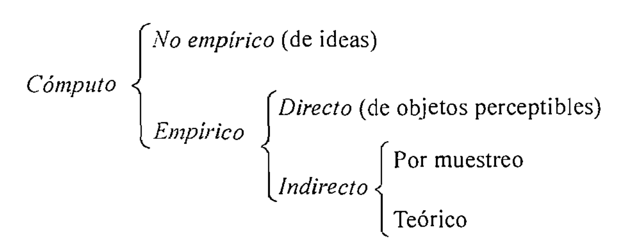
Los resultados de la anterior técnica o de cualquier otro procedimiento indirecto de cómputo no se aceptan ciegamente, sino que se someten a crítica de dos tipos: *comprobación estadística* y *comparación con otras técnicas.* La comprobación estadística es un procedimiento por muestreo como el recién descrito consiste en comparar el número de corpúsculos presentes en cada cuadrado (cf. fig. 13.5) con los valores probables predichos mediante cierta fórmula estadística (la de Poisson sobre la distribución). Si la discrepancia entre el contaje efectivo por cuadrado y los valores previstos es grande, puede sospecharse que el número de cuadrados observados ha sido insuficiente, o que ha sido defectuoso algún otro rasgo del muestreo. La segunda clase de control aludida consiste en comparar los resultados obtenidos mediante la técnica dada con los producidos por otra técnica que supone "principios" (leyes) diferentes: de este modo se confirma o refuta el contaje o cómputo inicial mediante un testigo independiente, por así decirlo. La objetividad de cualquier técnica de cómputo se controla, no se acepta por un acto de fe; si no se procede así, la técnica no merece consideración científica (cf. sec. 1.3). Imaginemos que un "hemoanalista" pretenda que es capaz de descubrir el número de glóbulos rojos de cualquier sujeto sin más que hacerle unas cuantas preguntas, y que se niegue a presentar su técnica o sus conclusiones para que puedan ponerse a prueba, una o varias veces, por medios independientes de los por él usados. Es claro que su comportamiento no se consideraría científico.

El cómputo de moléculas ilustra la segunda clase de cómputo indirecto, a saber, el cómputo que supone una considerable cantidad de conocimiento científico sustantivo. Podemos llamarle, a falta de nombre mejor, *cómputo atómico-teorético.* Una de las primeras operaciones de ese cómputo fue la determinación del número de Avogadro, o sea, del número de moléculas por mol de cualquier gas en condiciones normales de presión y temperatura. Este número, que es $6\ 023 \cdot 10^{23}$, se introdujo como componente de la teoría atómica, esto es, como concepto teorético. Hay varias teorías que sugieren otros tantos modos de "computar" ese número, mediante la derivación de relaciones entre él y otras cantidades. (Por ejemplo, $N = F/e$, y $N = R/k$, fórmulas en las cuales 'F' significa faraday –que es una constante electroquímica–, 'e' la carga eléctrica, 'R' la constante del gas y 'k' la constante de Boltzmann.) Dicho de otro modo: las teorías físicas sugieren varias comprobaciones, independientes entre sí, de un solo "cómputo" de N, cosa que no sería posible si N no fuera más que el resultado final de ciegas manipulaciones empíricas.

Los números más importantes para la ciencia son los determinados por cómputos indirectos de esta clase atómico-teorética, o sea, por el cómputo que requiere refinadas teorías y no menos sutiles mediciones. La razón de ese hecho es la siguiente: los números fácilmente accesibles, como el número de partes de una hoja de planta o el número de la población de una región determinada, pueden presentarse en descripciones, pero muy rara vez en teorías, aunque no sea sino porque (*i*) generalmente no hacen falta teorías para determinarlos, y (*ii*) hay pocas teorías, si realmente existe alguna, en las que puedan introducirse como "alimentación". Por importantes que puedan ser para fines prácticos, los números directamente medibles tienen escasa importancia cognoscitiva comparados con los números "ocultos", los números que no son accesibles sino por medio de teorías.

A juzgar por lo que hoy sabemos, los números directamente computables (*i*) son derivativos respecto de rasgos más básicos de la realidad, y (*ii*) pueden cambiar dentro de ciertos límites sin que el mundo se convierta en otra cosa cualitativamente diversa. Alteremos imaginativamente la población del mundo en un millón: no es probable que eso desencadenara ninguna transformación profunda; pero añadamos o sustraigamos una sola partícula *a* o de un átomo, y surgirá una cosa cualitativamente nueva.

En resumen, pues, pueden distinguirse las siguientes clases de cómputo:



Problemas

13.3.1. Exponer una técnica de muestreo. Usar cualquier buen manual de métodos estadísticos.

13.3.2. Analizar una técnica para contar bacterias o cualesquiera otros objetos microscópicos presentes en gran número. Precisar exactamente cuáles son los supuestos del uso de esa técnica, cuáles son sus datos y cuáles son las inferencias.

13.3.3. La medición del tiempo puede reducirse al cómputo de acaecimientos periódicos, como los ciclos noche-día. ¿Puede agotar ese procedimiento el continuo de los intervalos temporales supuesto por la teoría física? ¿Es arbitraria la elección de la secuencia de acaecimientos regulares (periódicos)?

13.3.4. Exponer una técnica para la determinación del número de Avogadro o de cualquier otra constante universal, y precisar (*i*) las hipótesis subyacentes y (*ii*) algunos procedimientos de comprobación. Utilizar un buen libro de física atómica experimental.

13.3.5. Comentar la afirmación de H. Dingle en *Scientific American, 202*, núm. 6, 1960, según la cual el número de Avogadro "representa en realidad una combinación de mediciones hechas con termómetros, con aparatos para calcular la presión, con balanzas, etc.", y no el número de moléculas presentes en una cierta porción unidad de gas y en ciertas condiciones.

13.3.6. Contar, como medir, es una operación sujeta a error, sobre todo si los acaecimientos contados son al azar no regularmente espaciados. El margen de error previsto en el cómputo de N acaecimientos al azar es $\sigma = \sqrt{N}$: es la dispersión de los cómputos en torno de la media. Los cómputos mismos se distribuyen según la ley de Poisson (cf. fig. 13.6). ¿Es el cómputo una operación

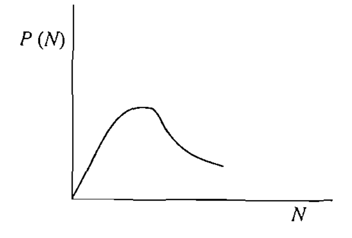


FIGURA 13.6. La distribución de Poisson: un criterio para el cómputo de hechos al azar y un criterio de azar.

puramente empírica? *Problema en lugar de ése*: ¿Son idénticas la numerabilidad y la computabilidad efectiva?

13.3.7. Imaginar un caso en el cual el cómputo de un conjunto de hechos pudiera cambiar la cardinalidad del conjunto. Inventar un procedimiento para corregir ese error.

13.3.8. Estudiar la medición de probabilidades por las frecuencias relativas.

13.3.9. Discutir la opinión según la cual (*i*) el cómputo es siempre una operación empírica, incluso cuando sus objetos son las raíces de una ecuación; (*ii*) está sometido a reglas universales independientes del tema material, y (*iii*) es anterior a toda teoría matemática. *Problema en lugar de ése*: Estudiar la independización gradual de la matemática pura respecto de la medición. Cf. H. S. Carslaw, *Introduction to the Theory of Fourier Series and Integrals*, p. 31: "Conseguir que la teoría de números sea independiente de todo axioma geométrico y asentarla sobre bases del todo independientes de la magnitud medible ha sido el objeto de las teorías aritméticas asociadas con los nombres de Weierstrass, Dedekind y Cantor."

13.3.10. Dadas unas colecciones de partículas de la misma clase, se obtienen para las mismas teorías diferentes según se suponga que esas partículas son diferentes en algún respecto o son idénticas. (La estadística de Boltzmann, la de Bose-Einstein y la de Fermi-Dirac, que corresponden a los tres casos de la fig. 13.4). La mayoría de los físicos dicen que esas diferencias –empíricamente contrastables– resultan de nuestra incapacidad de distinguir (por ejemplo, etiquetar) las partículas. Examinar esa interpretación. Averiguar también si se trata de cosas realmente idénticas (en cuyo caso serían una sola) o más bien intercambiables.

13.4. ESCALA Y UNIDAD

Cuantificar una propiedad de un sistema concreto es proyectar el conjunto de grados de la propiedad (los $\dot{r}$) sobre un conjunto de números (los r), de tal modo que la ordenación y espaciación de los números refleje el orden y la espaciación de los grados. Y medir es determinar efectivamente algunos de esos valores numéricos. Dicho de otro modo: una magnitud es el modo en el cual los grados de una propiedad se representan por números, y los valores medidos constituyen una muestra de ese conjunto de números.

Consideremos los grados de longitud alcanzados por una varilla metálica sometida a calentamiento. La expansión de la varilla es un aspecto de un proceso complejo, y el alargamiento es un rasgo de ese proceso. El único modo exacto de describir un tal alargamiento consiste en representarlo numéricamente, o sea, en coordinar el conjunto de las porciones de alargamiento (valores $\dot{r}$) con un conjunto de números (valores r). Esta coordinación se hace conceptualmente mediante la introducción del concepto cuantitativo de longitud, o sea, de la función "Longitud del cuerpo x en el estado y en base a la escala $e = r$", siendo r un número real no negativo. Medir la longitud de una varilla dada, a, en un determinado estado térmico b y con base en una escala dada e es atribuir a la variable numérica r un determinado valor después de haber realizado una operación empírica como la comparación del mensurandum con la longitud de un cuerpo tomado como patrón, una regla, por ejemplo. Realizando esa operación, el observador percibe una señal m^* en el instrumento de medición, y la interpreta como imagen de un número $m(\dot{c})$, que es él mismo una estimación del valor real c de la longitud medida. El propio valor c es descono-

cido en la mayoría de los casos; la suposición que aquí se hace consiste en admitir que el valor medido, $m(\dot{c})$ es una fracción $[c]$ cercana a c (cf. fig. 13.7.) Dicho brevemente: la medición es la contrapartida empírica de la cuantificación o determinación de medida, y consiste en interpretar ciertas señales convencionales (cifras, por ejemplo) como números que suministran a su vez una imagen más o menos fiable de porciones o grados de una propiedad. La medición no es por tanto una proyección directa y completa de esos grados sobre los números.

Sistema concreto	*Longitud física* (grado objetivo)	*Longitud conceptual* (número real)	*Lectura del instrumento*	*Longitud medida* (número racional)
	$\dot{c}_1$	c_1	m^*_1	$m(\dot{c}_1) = [c_1]$
	$\dot{c}_2$	c_2	m^*_2	$m(\dot{c}_2) = [c_2]$
	$\dot{c}_3$	c_3	m^*_3	$m(\dot{c}_3) = [c_3]$

FIGURA 13.7. La proyección de los grados de longitud y de sus contrapartidas instrumentales sobre el conjunto de los números.

*La complejidad de la medición puede apreciarse del mejor modo explicitando su estructura. Se parte del supuesto de la existencia de un sistema *factual* relacional $\dot{\mathscr{R}} = \langle \dot{R}, \leq \rangle$, que consta del conjunto $\dot{R} = \{\dot{r}\}$ de los grados de la propiedad física, como el peso, y la concreta relación ordenadora $\dot{\leq}$, por ejemplo, "menos pesado que o tan pesado como". Luego se introduce el sistema relacional *conceptual* $\mathscr{R} = \langle R, \leq \rangle$, que consta de un subconjunto, R, del conjunto de los números reales y de la relación aritmética "menor o igual que". La magnitud correspondiente –el pesó, en el ejemplo– es una *aplicación* o *mapeo* de $\dot{\mathscr{R}}$ sobre $\mathscr{R}$, tal que refleja el orden físico de $\dot{R}$. Hasta este punto se trata de cuantificación. Sigamos: llamemos $\mathscr{M}^* = \langle M,^* \dot{\leq} \rangle$ al sistema factual relacional que consiste en un conjunto $M^* = \{m^*\}$ de señales como los trazos de un metro o alguna escala, ordenados por la relación física $\dot{\leq}$ (por ejemplo: "a la izquierda de o coincidente con"). Y llamemos $\mathscr{M} = \langle M, \leq \rangle$ al correspondiente conjunto de números racionales parcialmente ordenados, que será un subconjunto de los números reales. El resultado neto de una serie de mediciones de una propiedad dada consiste en el establecimiento de una *aplicación parcial* del sistema relacional empírico $\mathscr{M}^*s$ sobre el sistema conceptual relacional $\mathscr{M}^*$ el cual es a su vez una imagen parcial de $\mathscr{R}$, imagen a su vez de $\dot{\mathscr{R}}$ (cf. fig. 13.8). Si se elimina cualquiera de los cuatro sistemas $\dot{\mathscr{R}}$, $\mathscr{R}$, $\mathscr{M}^*$ o $\mathscr{M}$, o cualquiera de las tres aplicaciones, no se tiene ya medición alguna. En particular, si se elimina cualquiera de los componentes factuales, los componentes conceptuales se quedan sin referente; y si se elimina alguno de los componentes conceptuales, no queda vínculo alguno entre el objeto de la medición y el instrumento.*

El intervalo en el cual se representan los grados de una propiedad, junto con la ordenación y el espaciamiento de los representantes, constituyen una *escala* de medición. Las

		Cuantificación			
	$\dot{\mathscr{R}} = \dot{R}\langle 1, \dot{\leq}\rangle$	$\rightarrow$	$\mathscr{R} = \langle R, \leq\rangle$	Valores numéricos efectivos (números reales)	
		aplicación	$\uparrow$		
Hechos			Proyección parcial		*Ideas*
		Medición	$\uparrow$		
	$\mathscr{M}^* = \langle M^*, \dot{\leq}\rangle$	$\rightarrow$	$\mathscr{M} = \langle M, \leq\rangle$	Valores medidos (números racionales)	
		Aplicación parcial			

FIGURA 13.8. La medición como una correspondencia entre los grados de una propiedad y las lecturas del instrumento a través de los números.

escalas Celsius y Fahrenheit son dos escalas diferentes de temperatura: cada valor de la temperatura de un cuerpo queda diversamente representado en las dos escalas. En la práctica, para todo par constituido por una magnitud (por ejemplo, el tiempo) y un dispositivo de medición de la misma (por ejemplo, un reloj), hay dos escalas, una conceptual y otra material. Por ejemplo, las horas del día pueden representarse (ambiguamente) sobre el intervalo numérico [0,12], que es la escala conceptual utilizada para proyectar y construir la mayoría de los relojes; la escala material correspondiente es, como es natural, la esfera del reloj. En general, una *escala conceptual* es el intervalo ordenado sobre el cual se representan los valores numéricos de una magnitud, mientras que la correspondiente *escala material* es el conjunto ordenado de señales, como las cifras de un instrumento, cuya lectura nos permite atribuir valores numéricos a la magnitud de que se trate. En el diagrama de la fig. 13.8, $\mathscr{R}$ es la escala conceptual, y $\mathscr{M}^*$ es la correspondiente escala material.

Es en principio posible asociar a cualquier magnitud dada diversas escalas; sólo el par magnitud-instrumento comporta una escala conceptual y una escala material determinadas. El paso de una escala a otra se llama *cambio de escala.* Uno de esos cambios de escala es la resolución del continuo temporal, que se extiende de menos infinito a más infinito, en periodos de 12 horas; otro corriente cambio de escala es la reducción utilizada en el trazado de mapas gráficos. *Un cambio de escala en una función f que lleva de un conjunto R de números a otro conjunto R' –o sea: $r' = f(r)$–, con correspondencia biunívoca. Si f es continua, la biunivocidad de la proyección se manifiesta en la continuidad de la imagen R' de R. Los cambios de escala corrientes son lineales, o sea, de la forma $r' = ar + b$, siendo a y b números reales determinados. Pero algunos instrumentos utilizan una escala logarítmica, esto es, no muestran los valores de las magnitudes correspondientes, sino sus logaritmos: $r' = \log r$. En la investigación de bajas temperaturas la escala $1/T$ (o sea, el cambio de escala $T' = 1/T$) es más conveniente, pese a no ser ni lineal ni continua.*

Si el espaciamiento de las marcas de una escala material no satisface ninguna ley conocida, la escala es *ordinal* o topológica. Son, naturalmente, ordinales las escalas impli-

cadas por la cuantificación y la medición de propiedades ordinales. En cuanto se estipula una separación según ley (no necesariamente constante) entre las marcas, se tiene una *escala métrica*. (Cf. fig. 13.9.) Para la mayor parte de las tareas pertinentes, la escala más ventajosa es la *uniforme*, o sea, la que separa los signos por espacios iguales. Pero toda escala métrica puede transformarse en cualquier otra de la misma clase, y la elección de escala es una cuestión práctica, no teórica.

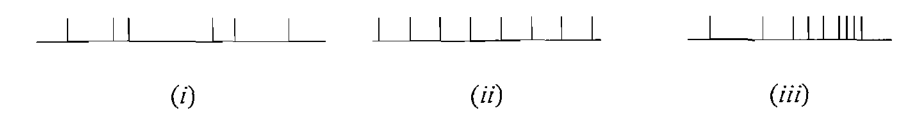


FIGURA 13.9. Una serie de marcas linealmente ordenadas, por caóticamente que sea, suministra una escala material ordinal (*i*). Un conjunto de señales ordenadamente espaciadas constituye una escala métrica material. Dos escalas métricas: uniforme (*ii*) y logarítmica (*iii*). La tercera es una proyección de la segunda por medio de la función logarítmica. Y ni la segunda ni la tercera son proyección de la primera.

Mediante la construcción de escalas materiales cada vez más finas pueden representarse intervalos numéricos cada vez más finos y, consiguientemente, pueden llevarse a cabo mediciones cada vez más precisas. Así, la división de un metro en 1 000 partes dará una escala más fina que la división de ese mismo intervalo en 100 partes. En general, una escala material asociada a una determinada magnitud será *más fina* que otra escala material asociada a la misma magnitud si y sólo si el conjunto de señales de la primera incluye el conjunto de señales de la segunda. Aunque la precisión de las mediciones puede perfeccionarse mediante la construcción de escalas cada vez más finas, y, al mismo tiempo, mediante la construcción de instrumentos más sensibles y estables para discriminar dichas señales, en cambio siempre quedará un lapso entre un intervalo Δr de una magnitud y la señal física m^* que le represente en la escala material: mientras que el intervalo numérico es un conjunto (un conjunto infinito si la magnitud es continua), la señal es un individuo; y mientras que la primera es una idea la segunda es un hecho.

Una escala métrica es incompleta si no se especifica su *cero* u origen: sin ello no sabremos a partir de dónde contamos, o, por lo menos, habrá siempre ambigüedad al respecto: por tanto, dos observadores serán incapaces de comparar y controlar sus resultados. La elección del cero de una escala depende de la magnitud y del cuerpo de conocimiento al que se apele. En el caso de la altitud, el tiempo y la temperatura empírica el origen es convencional. Podemos referir las alturas al nivel del mar, al centro de la tierra o a cualquier otra línea de base. Análogamente, el tiempo puede contarse a partir de cualquier acaecimiento de interés, por ejemplo, a partir del instante en que empieza el proceso o la observación tratada. Y el cero de las escalas de temperaturas empírica puede definirse como la temperatura a la cual ocurre tal o cual cambio claramente perceptible y fácil de reproducir, como la congelación (o la ebullición) del agua. En todos esos casos las escalas tienen *ceros relativos*, lo que quiere decir que se puede trasladar arbitrariamente los orígenes y que la elección se basa en la conveniencia práctica, no en la

teoría. En cambio, la longitud, la edad y la temperatura termodinámica se miden con escalas que arrancan de *ceros absolutos*, o sea, de orígenes que no pueden desplazarse arbitrariamente. Las longitudes se cuentan en la escala métrica [0, ∞], porque, por definición, la longitud no es un número negativo. Las escalas de edad tienen que poseer un cero absoluto, que a veces se llama época fundamental, porque por definición la edad de x es el tiempo transcurrido desde que x empezó a existir, y x no recorrió tiempo alguno antes de nacer como tal x. Por último, la elección del cero de temperatura termodinámica se basa en la teoría física (clásica). En resolución: los ceros absolutos no son a nuestra elección, sino que dependen de condiciones y leyes que pertenecen a alguna teoría; en la mayoría de los casos coinciden con la desaparición de la propiedad correspondiente (desaparición entendida según algún cuerpo de conocimiento).

Para tener una escala métrica el cero es necesario, pero no suficiente. La escala seguirá siendo incompleta si no se adopta una unidad o intervalo básico (cf. fig. 13.10). La razón de esto es, naturalmente, que la realización de una medición se reduce a averiguar empíricamente cuántas *unidades* (o subunidades) entran en una cantidad dada. Por eso la

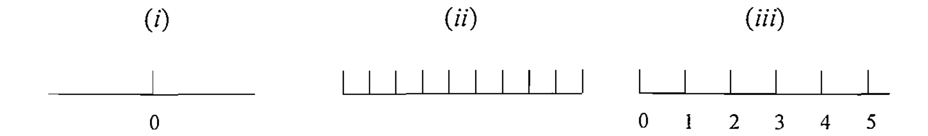


FIGURA 13.10. Una escala con cero, pero sin unidad (*i*). Una escala con unidad, pero sin cero (*ii*). Una escala métrica uniforme completamente especificada (*iii*).

adopción de una escala métrica para una magnitud implica una elección de unidad: elección del *concepto de unidad* para la escala conceptual y de un objeto físico patrón, o sea, una *unidad material*, para la escala material. Así, la hora es una unidad de tiempo representada en la mayoría de los relojes por un arco de 15°: la hora es la unidad conceptual y el arco es la unidad material. En la escala material la unidad puede ser un intervalo, espacial o no, entre dos señales dadas, como trazos o sonidos. La unidad no es necesariamente el intervalo más pequeño de la escala: el intervalo básico de una escala, el intervalo entre dos trazos sucesivos por ejemplo, puede representar una unidad, una subunidad o un múltiplo de la unidad básica. En cualquier caso, aun sin conocer cuál es la unidad de la escala, el operador puede atribuir cualquier número a la magnitud que está midiendo Y una vez aceptado un sistema escala-unidad, el grado r puede concebirse como el número de intervalos o unidades básicas de la magnitud dada. Esto da pie al modo corriente de expresar magnitudes, a saber

$$P = ru, \qquad [13.6]$$

expresión en la cual u es el nombre de la unidad por la que se expresa la propiedad P. Este modo de escribir no tiene riesgos siempre que se tenga presente (*i*) que P no es un número, sino una función, (*ii*) que los argumentos de P son las variables de objeto, σ, y

las variables de escala, *e*, y (*iii*) que el producto *ru* es simbólico, porque *u* no es un número.

Convendremos, pues, en que la medición propiamente dicha –a diferencia de la cuantificación o medición– requiere una elección de unidades. (Puede esperarse un progreso espectacular en la psicología experimental en cuanto todos los prácticos de esta ciencia se den cuenta de ese hecho.) Pero antes de que podamos proponer una unidad para una determinada magnitud dada, tenemos que dar respuesta a dos preguntas: (*i*) ¿A qué familia pertenece nuestra magnitud, o sea, cuál es su dimensión?, y (*ii*) ¿Es una magnitud fundamental o derivada?

El primer problema surge por la variedad de magnitudes que son básicamente de la misma clase. La distancia, la altura, la profundidad y la longitud de onda no son sino diferentes aplicaciones del concepto de longitud: todas ellas pertenecen a la misma *familia de magnitudes.* Lo que caracteriza a esa familia es la dimensión común L. No había consciencia de esto cuando se utilizaba la braza junto con la yarda, y la onza junto con el pie cúbico. Para subrayar que dada una familia de magnitudes hay un concepto único que le sirve de base, y para eliminar así una fuente de confusión y pérdida de tiempo, se adopta en la ciencia una sola *unidad básica* para todos los miembros de una familia de magnitudes. Dicho de otro modo, hoy se sigue la siguiente *Convención*: Las magnitudes de misma dimensión se registran y miden con la misma unidad básica. La consecuencia metodológica de esta convención es obvia: hace falta un análisis de la dimensión de la magnitud de que se trate antes de determinar sus unidades. Si la magnitud es fundamental o simple, como la longitud o el tiempo, no hace falta tal análisis. Pero la mayoría de las magnitudes son derivadas o complejas: se introducen mediante fórmulas (empíricas o teoréticas) que las vinculan con magnitudes fundamentales, y esas fórmulas suministran la base de un análisis dimensional. Así, la definición elemental de "velocidad" es "$v =_{df} d/t$ ", en la cual t es el valor numérico de la duración consumida por algo para cubrir la distancia d. Como la dimensión de d es L, o sea, $[d] = L$, y la de t es $[t] = T$, la dimensión de v es $[v] = [d] / [t] = L/T$ Análogamente, de la definición de la aceleración, "$a =_{df} d/t^2$", obtenemos $[a] = [d] / [t^2] = L/T^2$. La dimensión de la fuerza se averigua analizando la ley de Newton "$f = ma$"; el resultado es: $[f] = [m]\ [a] = ML/T^2$.

En las ciencias naturales se adopta el principio de *homogeneidad dimensional*: los dos miembros de una ecuación cualquiera deben tener las mismas dimensiones. Esta regla de formación es ignorada o violada con frecuencia en las ciencias sociales, lo que da lugar a fórmulas carentes de sentido. Nuestra segunda tarea antes de proceder a la elección de unidades es la distinción entre magnitudes fundamentales y magnitudes derivadas, distinción que es relativa al contexto teorético. En mecánica, la longitud, la masa y la duración se toman como conceptos primitivos independientes y como *magnitudes fundamentales*, a base de las cuales se registra y mide cualquier otra magnitud. En otras ciencias se les añaden otras magnitudes fundamentales y, por tanto, unidades básicas, siempre que esas magnitudes no sean reducibles a las mecánicas: tal fue el caso de la temperatura en la termología y de la carga eléctrica en la electrodinámica. (Es instructivo intentar imaginarse cuáles serían las magnitudes fundamentales y, consiguientemente, las unidades básicas, para un ser racional desprovisto de masa. La mera idea de un campo inteligente, por infundada que sea, debe enseñarnos a no considerar que el estatuto de fundamentalidad

de que hoy día disfrutan ciertas magnitudes tenga sus raíces en la naturaleza y sea, por tanto, incorregible y definitivo.)

La elección de unidades es convencional en el caso de las magnitudes fundamentales, pero siempre consiste en adoptar alguna materialización del concepto dado. Así, por ejemplo, puede tomarse como unidad de longitud la longitud del pie del Rey, y como unidad de masa la inercia del Rey, y como unidad de duración el lapso mínimo entre dos estornudos del Rey. En los tres casos hay un procedimiento de *referición* o relación signo-objeto físico (cf. sec. 3.6). Más precisamente: se coordina un concepto con un objeto físico (cosa o hecho) convencionalmente elegido como *patrón* o unidad material. Este tipo de referición es la *referición coordinativa* de la sec. 3.6, y a menudo se concibe erróneamente como definición.

Se ha supuesto a veces que, como las unidades básicas de las magnitudes fundamentales se adoptan por convención, los valores medidos de las magnitudes físicas, y acaso también sus referentes, son arbitrarios y subjetivos. Y sin duda hay que afirmar esa conclusión si no se establece la distinción entre una propiedad y sus valores medidos. Pero si se acepta esta distinción –hecha en la sec. 13.2–, es fácil comprender que los valores medidos, a diferencia de las propiedades mismas, deben tener una componente convencional: en última instancia, las magnitudes no son rasgos de sistemas concretos, sino conceptualizaciones de rasgos tales. La longitud no es convencional, pero sí lo es la *elección de un patrón* de longitud (o de duración, o de masa), y, por tanto todo *valor medido* es convencional en la misma medida. Análogamente, la elección de un modo de representar los rostros humanos es convencional, pero los rostros mismos no lo son, salvo en un sentido valorativo de la palabra 'convencional' o sus equivalentes en algunas lenguas.

*La siguiente ley de la *invariancia bajo cambios de unidad* expresa la objetividad de la propiedad concreta como distinta de su valores numéricos en los varios posibles sistemas de unidades:

$$P(\sigma) = r\,u = r'\,u' \qquad [13.7]$$

Esa fórmula puede leerse así: la magnitud P, que representa una cierta propiedad de un objeto σ, es la misma expresada en unidades u o en unidades u'. Este postulado de objetividad se subsume bajo el axioma, más general, de covariancia, según el cual las propiedades y sus relaciones son independientes de las convenciones humanas. Consecuencia inmediata de ese postulado es la ley de conversión de unidades:

$$r' = r(u/u') \qquad [13.8]$$

o sea: si el número de una propiedad expresado en unidades u es r, entonces la expresión numérica de esa misma propiedad en unidades u' es igual al anterior número multiplicado por el *factor de conversión* u/u'. El factor de conversión implicado por la igualdad "100 cm = 1 m" es $u/u' = 1/100$, y el factor de conversión que nos permite pasar de segundos a minutos es 1/60. Las conversiones de unidades serían ilegítimas si no se aceptara el postulado de objetividad [13.7].*

Los patrones, o sea, las unidades materiales de las magnitudes fundamentales, se eli-

gen convencional, pero no arbitrariamente: tienen que ser suficientemente precisos, constantes y fáciles de reproducir, para que sean posibles comparaciones objetivas a través del tiempo y del espacio. Por eso una cierta barra de metal (el metro patrón) sustituyó a los varios pies medievales, y, más tarde, una determinada longitud de onda sustituyó a su vez a la barra metálica citada. Análogamente se elaboraron patrones de tiempo, masa, voltaje y otras magnitudes. Todo país progresado tiene una oficina de patrones dedicada a la preservación, la producción y el refinado de unidades materiales o patrones. En algunos casos la naturaleza misma, por así decirlo, suministra unidades constantes y repetibles. Así, por ejemplo, la masa y la carga del electrón y la velocidad de la luz en el vacío funcionan como unidades "naturales" en la física atómica. Y si el espacio físico tuviera un radio de curvatura constante, ésa sería la unidad natural de longitud. No hará falta decir que esas unidades satisfacen la condición de constancia mejor que los patrones hechos por el hombre, pero, por lo común, suplementan, y no constituyen, a estos últimos, porque no siempre se encuentran a escala humana. Así, por ejemplo, no sería más práctico medir la carga presente en un condensador por el procedimiento de compararla con la carga del electrón que medir distancias geográficas en fermis (1 fermi = 10^{-13} cm) o dibujar áreas de terreno tomando como unidad el barn (1 barn = 10^{-24} cm).

Una vez determinada una unidad de medición mediante la elección de un patrón material, la medición de cualquier valor de la magnitud correspondiente –por ejemplo, la medición de la duración de una magnitud– puede entenderse como la comparación de la cantidad dada con la unidad representada por el patrón. Las mediciones de este tipo suelen llamarse absolutas, y todas las demás comparativas. (Otras veces se llama absoluta a una medición si se reduce a la medición de magnitudes geométricas y mecánicas.) Pero todos esos nombres son poco afortunados, porque toda medición supone comparación y porque las unidades básicas son convencionales; sería mejor usar los nombres de *medición con patrón* y *sin patrón*.

Una vez elegida una unidad básica y construida una materialización de la misma, pueden conseguirse a voluntad múltiplos y submúltiplos de una y otra por multiplicaciones y divisiones sucesivas por un número dado. De este modo se produce un *sistema de unidades* no un mero conjunto de unidades. Si el factor de conversión es 10, se desarrolla un sistema métrico decimal. En mecánica suelen adoptarse el centímetro, el gramo y el segundo como unidades básicas en base a las cuales se construyen todas las demás unidades de las mismas magnitudes fundamentales: por eso se habla del sistema CGS. En la ingeniería eléctrica se utiliza normalmente el sistema de unidades básicas MKSA (metro, kilogramo, segundo, amperio).

La adopción de un sistema de unidades básicas para las magnitudes fundamentales de una disciplina determina unívocamente las unidades de las magnitudes derivadas. Esto no tiene lugar en un vacío teorético, sino por medio de definiciones y de enunciados legaliformes que pertenecen a alguna teoría. Así, por ejemplo, la unidad de velocidad se introduce sobre la base de la definición "$v = d/t$", y depende de la elección de las unidades de distancia y duración. Y la unidad de fuerza se introduce generalmente sobre la base de la ley de Newton "$f = ma$", a saber: la unidad de fuerza, llamada dina, es la fuerza que imprime una aceleración unidad (1 cm/sec^2) a un cuerpo de masa unidad (1 g); o sea: 1 dina = 1 g-cm/sec^2. Obsérvese que 'dina' es el *nombre* de una unidad de fuerza, no esta

unidad misma, la cual es la fuerza cuyo valor numérico es unidad en el sistema CGS. Obsérvese también que los nombres de unidades se tratan como si fueran números, aunque no lo son. Por ejemplo, la unidad de presión, o microbar, se define así: microbar = = dina/cm^2 = g-cm/sec^2-cm^2 = g-cm^{-1}-sec^{-2}. En general, las unidades derivadas se obtienen por multiplicación o división de las magnitudes básicas o fundamentales sin introducir factores numéricos, y usando fórmulas teoréticas (definiciones o enunciados de leyes). El conjunto de unidades básicas y unidades derivadas que se obtiene de ese modo es un *sistema coherente de unidades.* Los sistemas CGS y MKSA son sistemas coherentes de unidades, mientras que el conjunto {cm, lb, sec} es incoherente.

Para fines prácticos pueden, como es natural, construirse patrones materiales de unidades derivadas, y así también pueden añadirse refericiones de unidades derivadas a su especificación en contextos teoréticos. Pero desde un punto de vista fundamental esas refericiones no son imprescindibles. En rigor, sólo las unidades básicas de las magnitudes *fundamentales* tienen que introducirse por refericiones de tipo coordinativo, porque no se basan en conceptos anteriores. Dicho de otro modo: los patrones (unidades materiales) no se necesitan más que para la medición de propiedades denotadas por conceptos indefinidos. A su vez, sólo la investigación básica o de fundamentos puede determinar qué conceptos de una teoría son primitivos o fundamentales y cuáles no.

Las unidades, y esto vale incluso para las de las magnitudes fundamentales, no aparecen en un vacío científico: la concepción de una nueva unidad puede requerir considerable conocimiento sustantivo, y su propuesta puede suscitar controversias intensas. Es claro que las discusiones sobre las ventajas de los varios sistemas de unidades no se refieren a su verdad: ningún sistema de unidades puede poseer verdad, porque ninguno es un sistema de enunciados, aunque presuponen tales sistemas (esto es, teorías). Pero aquellas controversias no carecen de sentido: un sistema de unidades debe ser (*i*) *coherente*, en el sentido de que todo elemento del mismo tiene que ser fundamental o derivado a partir de unidades fundamentales por multiplicación o división; (*ii*) *teóricamente conveniente*, o sea, adecuado para la discusión teórica, y (*iii*) *prácticamente conveniente*, o sea, adecuado para fines experimentales y/o tecnológicos. Mientras que la coherencia debe exigirse de todo sistema de unidades, es prácticamente imposible que un sistema satisfaga de un modo pleno los desiderata en conflicto (*ii*) y (*iii*), o sea, que satisfaga simultáneamente las necesidades del científico teórico y del científico de aplicación, mientras que el ingeniero tendrá la preferencia contraria, y cada uno de ellos con sus buenas razones. Pero ninguno de ellos elegirá el sistema palmo-onza-rato: las convenciones no tienen por qué ser absurdas.

Dos ejemplos aclararán la cantidad de conocimiento exigida para introducir una unidad. Primer ejemplo: supongamos que deseamos medir la farsantería, ese curioso esquema de comportamiento animal. Si nos inclinamos por soluciones operativistas, empezaremos por elegir un determinado patrón de farsantería; podemos, por ejemplo, tomar un farsante notable –supongamos que se llame Farcía– y estipular que él, o más bien su comportamiento peculiar, servirá como unidad de farsantería: el *farcía.* Pero aun teniendo ya el farcía –o alguna subunidad más práctica, como el milifarcía– seguimos sin poseer una escala completa de la farsantería, porque no hemos estipulado cuál es el cero de la escala de farsantería. Y no podremos decidir ese cero mientras no nos formemos un

concepto claro de farsantería, lo cual exige a su vez elaboración de algún fragmento de teoría sobre la misma. Por tanto, concluimos que más nos habría valido hacer las cosas al revés, empezando por la construcción de una teoría cuantitativa de la farsantería. En esa teoría es posible que la farsantería se tratara como magnitud derivada –salvo que se tratara de una teoría fenomenológica –y así los problemas del cero y la unidad de la escala de la farsantería se convertirían en los problemas del cero y la unidad de las escalas de las magnitudes fundamentales, como la ambición, la deshonestidad y la incompetencia. Supongamos entonces que esa imaginaria teoría se basara en un conjunto de postulados que relacionaran los conceptos, independientes entre sí, de ambición, A, incompetencia, I, y deshonestidad, D, todos ellos métricos. Supongamos además que las escalas de A, I y D fueran todas escalas métricas uniformes con un campo que abarcara de 0 a 1. Las unidades de ambición, incompetencia y deshonestidad se introducirían por referición, puesto que los conceptos serían primitivos en la teoría. Supongamos que nos decidimos por César, Nerón y Cicerón como unidades materiales o patrones de ambición, incompetencia y deshonestidad, respectivamente, y que llamamos entonces a los conceptos correspondientes el *césar*, el *nerón* y el *cicerón*. Entonces podemos introducir el concepto de farsantería en la teoría por medio de la definición: $F =_{df} A \cdot I \cdot D$, o sea, en prosa: la farsantería es igual a la ambición por la incompetencia por la deshonestidad. La farsantería mínima correspondería entonces a la ambición cero, o a la competencia máxima, o a la honestidad máxima (o sea: si $A = 0$, o $I = 0$, o $D = 0$, entonces $F = 0$). Y la farsantería máxima correspondería a $A = I = D = 1$. Por tanto, la farcía sería una unidad derivada, del modo siguiente: farcía = césar-nerón-cicerón. Nuestro ejemplo de teoría es, realmente, una farsa, pero en cualquier caso lo importante es que hay que introducir el *concepto* de una unidad antes de construir una materialización adecuada o patrón; y ello particularmente en el caso de las magnitudes derivadas. Segundo ejemplo: antes de que se inventara la teoría de la información, la búsqueda de una unidad para medir el contenido en información de los mensajes parecía cosa tan imposible como la introducción de una unidad de farsantería. Habría podido pensarse en medir el contenido de información por el número de signos, o por el tiempo requerido para entender la información o por la longitud total del trabajo de clave necesario para descifrar el mensaje, etc. La adopción del *bit,* o elemento mínimo de información, se basó en una determinada fórmula teórica ($I = \log_2 n$, siendo n el número de signos simples empleados en la comunicación), la cual era a su vez expresión cuantitativa de la idea de que sólo puede decirse que tiene lugar una transmisión de información cuando la incertidumbre o la ignorancia del receptor disminuyen como consecuencia del proceso (cf. sección 1.3). Entonces se adoptó naturalmente como unidad de información –el *bit* (literalmente: trocito)– la cantidad mínima de información necesaria para eliminar la incertidumbre en la situación más simple, a saber, aquella en la cual con anterioridad a la recepción del mensaje había habido dos posibilidades igualmente probables, como el sexo de un niño recién nacido.

Detengámonos ahora un momento para recoger los varios puntos que hemos ido considerando. Son los siguientes: (*i*) el *mensurandum*, o propiedad de sistema concreto que deseamos medir; el mensurandum procede de la naturaleza o de la sociedad, pero son a menudo teorías las que sugieren su existencia; (*ii*) un claro *concepto* cuantitativo (métrico) del mensurandum, o sea, la magnitud que se supone representa la propiedad objetiva;

en la medida de lo posible, este concepto debe estar sumido en alguna teoría científica y debe analizarse lógicamente a base de variable(s) de objeto y variable(s) numéricas(s), con objeto de no perder de vista algún aspecto relevante; (*iii*) una *escala conceptual* y una *escala material* sobre las cuales puede registrarse o medirse la magnitud; la escala, si es métrica, tendrá una señal privilegiada, el origen o cero, y (*iv*) una *unidad* de medición que pertenezca a algún sistema de unidades coherente.

Esos cuatro elementos son necesarios, pero no suficientes, para emprender una operación de medición: tenemos que arbitrar una técnica de medición y proyectar y construir un equipo de medición. A esa tarea atenderemos ahora.

Problemas

13.4.1. Estudiar el problema de la elección de una escala conceptual y una escala material para alguna magnitud no ejemplificada en el texto. *Problema en lugar de ése*: Examinar los problemas de escala que surgen a propósito de la introducción de temperaturas negativas absolutas. Tener en cuenta que si se realiza esa ampliación de la escala, deja de ser preservadora del orden la proyección de los estados térmicos sobre los números: efectivamente, las temperaturas negativas corresponden entonces a los cuerpos más calientes, no a los más fríos; a un cuerpo "infinitamente caliente" se le atribuye una temperatura negativa, y si se le enfría su temperatura saltará hasta un alto valor positivo, el cual puede, a su vez, ir disminuyendo hasta aproximarse a cero.

13.4.2. Un conjunto de grados de una propiedad se proyecta sobre un conjunto de números de tal modo que todo miembro del primer conjunto tiene una sola imagen numérica. Por otro lado, el valor medido de una magnitud es él mismo un conjunto (un intervalo) si se añade el error (más o menos σ) al valor central m; por tanto, un conjunto de valores medidos es un conjunto de conjuntos. ¿Cuáles son las correspondencias entre este último conjunto y (*i*) el conjunto de los valores reales y (*ii*) el conjunto de las señales de la escala? *Problema en lugar de ése*: según la termodinámica, es imposible enfriar un cuerpo hasta el cero absoluto. A pesar de eso se estiman los valores de varias magnitudes a esa temperatura y, además, el origen de la escala de temperatura termodinámica es precisamente 0°K. O sea, se hace en termodinámica la hipótesis de una temperatura absoluta objetiva cero, y esa hipótesis subyace a las mediciones de temperatura; pero, al mismo tiempo, se muestra en esa ciencia que el cero absoluto es empíricamente inalcanzable. Resolver esa compleja situación.

13.4.3. Los psicólogos hablan habitualmente de *escalas de medición*, entendiendo por ello lo que los científicos naturales llaman 'magnitudes', 'variables' o 'cantidades medibles'. Por ejemplo, los psicólogos llaman escalas *ordinales* a magnitudes ordenales, como la dureza. ¿Tiene alguna ventaja ese uso de los psicólogos? En cambio, las mediciones de los psicólogos son notoriamente débiles por lo que hace a sus sistemas de unidades. ¿Por qué? *Problema en lugar de ése*: ¿Dependen de la elección de escala la significación y el valor veritativo de las construcciones científicas?

13.4.4. ¿Se preocupa la geometría por fijar una unidad de distancia? ¿Fija la mecánica teorética la unidad de masa? ¿Sugiere la física atómica unidades naturales? ¿Sería posible y deseable introducir un sistema de unidades basado en la física atómica?

13.4.5. Suelen usarse dos unidades básicas de tiempo independientemente la una de la otra: el segundo solar medio y el segundo de las efemérides o tablas astronómicas. Los relojes corrientes "dan" el tiempo solar medio, y las mediciones de posición por los agrónomos o los marinos se basan en el tiempo solar medio; en cambio, los astrónomos usan los otros segundos, porque el segundo solar medio no es exactamente el mismo todos los años (o sea, porque el movimiento de

la Tierra no es completamente regular). Comentar esa dualidad. *Problema en lugar de ése*: Examinar los procedimientos para establecer patrones o criterios de tiempo y sus peculiares dificultades dimanantes de la inmaterialidad y la difícil accesibilidad del tiempo

13.4.6. Basándose en que la unidad de velocidad es igual a la unidad de distancia partida por la unidad de duración, muchos libros de texto infieren que el *concepto* de velocidad puede definirse como la distancia por la unidad de duración, o hasta como "el espacio recorrido en la unidad de tiempo". Examinar esa inferencia. *Problema en lugar de ése*: Del hecho de que los enunciados legaliformes son *invariantes respecto* de las conversiones de unidad se sigue que para fines teoréticos no hay necesidad de atenerse a ningún sistema de unidades; por esta razón no hemos discutido el problema de las unidades hasta este momento. ¿Se sigue de ello que todo el lenguaje de la ciencia ignore el problema de las unidades y carezca de ellas?

13.4.7. Examinar la propuesta de adoptar el *darwin* como la unidad de la tasa de evolución. Cf. J. B. S. Haldane, *Evolution*, *3*, 51, 1949.

13.4.8. ¿Están las magnitudes fundamentales relacionadas con la posibilidad de "definirlas" de un modo operacional? Dicho de otro modo: la identificación de una magnitud como fundamental o derivada, ¿depende del modo de medirla o de su lugar en alguna teoría científica?

13.4.9. N. R. Campbell, en su influyente obra *Foundations of Science*, 1919, Nueva York, Dover, 1957, llamó *magnitudes fundamentales* a aquellas "cuya medición no depende de ninguna otra magnitud". ¿Puede entonces afirmarse la fundamentalidad fuera de todo contexto teorético? ¿Y son las mediciones más precisas de la longitud, la masa y la duración (magnitudes fundamentales) fundamentales de hecho en el sentido de Campbell (o sea, fundamentales en el sentido de ser simples, directas, o reducibles ulteriormente)?

13.4.10. Investigar el álgebra de las dimensiones y unidades, problema dejado de lado por los científicos que las usan diariamente. Véase M. Bunge "A mathematical theory of the dimensions and units of physical quantities", en M. Bunge (ed.), *Problems in the Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1971.

13.5. TÉCNICAS

Las técnicas de medición son uno de los rasgos distintivos de la ciencia moderna. Dependen de la naturaleza del mensurandum, del conocimiento disponible, de los requisitos o exigencias de precisión y de la inteligencia y la habilidad del operador. Es claro que las técnicas de medición dependen primariamente de la naturaleza del mensurandum en su relación con observadores humanos: una cosa es medir distancias accesibles, otra completamente distinta medir distancias interatómicas o interplanetarias. Aunque en los tres casos se supone el *mismo concepto* de distancia, los procedimientos para medir su valores numéricos son muy diferentes: en el caso de los cuerpos que pueden manejarse directamente, el valor medio puede leerse con una escala material del tipo de la regla, mientras que en el caso de cuerpos prácticamente inaccesibles se miden en realidad magnitudes relacionadas con ellos, y el mensurandum se averigua con la ayuda de fórmulas. Hay aquí una primera dicotomía que tiene su alcance epistemológico: las mediciones pueden ser directas o indirectas.

Una *medición directa* se realiza comparando el mensurandum con un patrón o con las unidades de una escala material, y contando el número de veces que la unidad está con-

tenida en el mensurandum. Problema epistemológicamente interesante es en este caso el suscitado por la coordinación o congruencia entre el mensurandum y las marcas presentes en la escala material. Supongamos que la longitud del cuerpo se mide por el procedimiento de ir colgando varios metros rígidos uno tras otro. Desde el punto de vista semántico, este procedimiento consiste en establecer correlatos o interpretaciones materiales de los signos aritméticos '+' e '=': el primero corresponde a la yuxtaposición física ($\dot{+}$) y el segundo a la congruencia física o coincidencia ($\doteq$).

Se supone, además, que el modelo material satisface las leyes de la aritmética así interpretadas. Por ejemplo: se da por supuesto que la yuxtaposición de metros materiales, o varas de medir, es conmutativa ($x \dot{+} y \doteq y \dot{+} x$) y que las longitudes no se alteran en el proceso de medición ($L(x \dot{+} y) = L(x) + L(y)$). También se supone que los resultados de esas operaciones son independientes del espacio y del tiempo; en particular, que no dependen de la orientación de los cuerpos. Pero todos esos supuestos son *hipótesis físicas* muy específicas que pueden ser falsas. Puede, por ejemplo, ocurrir que el espacio o, al menos, la región del espacio en que se practica la medición, no sea isotrópica, sino que las longitudes dependan de la orientación, tal como efectivamente ocurre en el caso de las dimensiones de una varilla de zinc situada en un campo de ondas ultrasónicas. También puede ocurrir que las varas de medir se compriman o dilaten por el proceso de yuxtaposición. Los supuestos en cuestión pueden en principio ponerse a prueba, y entonces se averigua que quedan muy satisfactoriamente realizados por los cuerpos rígidos, aunque no por otros flexibles como tallos de hierba, etc. Pero, dejando aparte el complicado problema de la existencia de cuerpos perfectamente rígidos, lo importante es que al realizar una medición de longitud estamos admitiendo tácitamente unos cuantos supuestos; algunos de ellos se refieren a la naturaleza de los cuerpos afectados (en particular, a los instrumentos de medición) y otros se refieren a la materia y al espacio-tiempo en general. Dicho brevemente: las operaciones empíricas y, en particular, las mediciones no pueden considerarse como un punto de partida absoluto para la construcción de la ciencia, porque presuponen cierto número de hipótesis.

En las secciones anteriores se arguyó –y se ilustró insistentemente con el ejemplo de la medición de la duración– que la medición presupone unos cuantos elementos de teoría, al menos si uno desea saber qué está midiendo y con qué precisión. En el caso de la medición de la duración, la clase de congruencia utilizada es la simultaneidad. La simultaneidad de acaecimientos perceptibles y especialmente próximos se establece fácilmente, pero la de acaecimientos distantes no se puede establecer sino haciendo por lo menos la hipótesis de que las señales utilizadas para establecer un orden temporal se propagan a velocidad finita que no depende ni de la región del espacio-tiempo ni de la dirección en que se propagan. La teoría especial de la relatividad, tantas veces aclamada como un ejercicio de operativismo puro, empezó en realidad por presuponer la teoría maxwelliana de las señales luminosas y por construir una definición del concepto de simultaneidad en concordancia con dicha teoría, y en discrepancia con las prácticas de medición dominantes en la época que presuponen la teoría física clásica.

Otra cuestión interesante relacionada con la medición directa es el problema de si –en el caso de los sistemas empíricamente accesibles– el ángulo, la longitud, el tiempo y el peso son directamente medibles porque son directamente observables. Si así fuera, la

medición directa sería simplemente observación exacta. Pero ése no es el caso: lo que observamos no es la longitud de un cuerpo, sino el cuerpo dado –o, por mejor decir, su exterioridad– y un cuerpo patrón o alguna escala material. Al medir observamos la relación de coincidencia o congruencia entre las terminaciones del lado medido y ciertas señales de la escala de la varilla medidora.

Lo observable son sistemas concretos –cosas, acaecimientos y procesos–, no sus propiedades aisladas; por otro lado, nunca se mide una cosa: lo medible es exclusivamente alguna propiedad de las cosas.

Atendamos ahora a la *medición indirecta*, esto es, a la medición que supone medición directa (de algo que no es lo medido) y cómputo. Consideremos el problema consistente en medir la distancia respecto de un punto que se encuentra al otro lado de un lago. (Cf. fig. 13.11.)

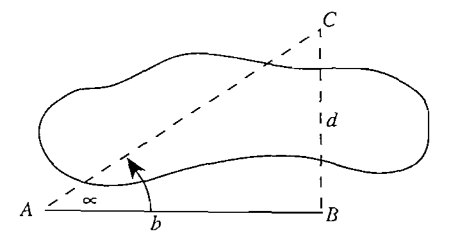


FIGURA 13.11. Medición de la distancia a un punto inaccesible.

Empezamos por construir un triángulo rectángulo formado por una base cualquiera, b, trazada en el suelo en que nos encontramos, y los rayos de luz que van del punto inaccesible C a las extremidades A y B de la base, rayos que son, naturalmente, los que nos informan de la existencia de alguna cosa en C. Nuestro triángulo es físico, no matemático: los "puntos" A, B, C son cuerpos extensos, y los "lados" son también sistemas materiales. Luego medimos la longitud b de la base y el ángulo α formado por la base y la "línea" AC; la primera medición se hace con una cinta métrica y la segunda con un goniómetro. De los datos b y α más la geometría elemental podemos inferir el valor de la incógnita d. Para ello formulamos el supuesto de que nuestro triángulo *físico* es un modelo material de un triángulo *matemático* euclídeo, o, más bien, que es una realización de éste suficientemente satisfactoria. Suponemos también que nuestros valores medidos son lo suficientemente próximos a los reales, o sea, que el triángulo *empírico* formado en el proceso de medición coincide satisfactoriamente con el triángulo físico. Los dos supuestos son aproximadamente verdaderos en el mejor de los casos, nunca exactamente verdaderos: puede siempre concebirse un procedimiento de medición más fino (incluso con la misma técnica) por el cual se consiguiera una adecuación más exacta entre los tres triángulos; también, por otra parte, habría podido usarse una geometría no-euclídea para triángulos de dimensiones cósmicas. En cualquier caso, el hecho es que admitimos ciertos supuestos que nos imponen la adopción de unos elementos de geometría física como subyacentes a nuestra técnica de medición. Luego introducimos los datos de la medición en esa porción de geometría, del modo siguiente: calculamos la distancia buscada d me-

diante la fórmula "$d = b\ tg\alpha$", utilizando una tabla para hallar el valor de $tg\alpha$ para el valor de α hallado por medición. En todos los casos introducimos en las fórmulas los mejores valores obtenidos por medición, o sea, los valores medios, y no el par completo ⟨media, error⟩.

Los ángulos, las longitudes, las duraciones y los pesos son directamente medibles en muchos casos, es decir, pueden medirse comparándolos con unidades de escalas materiales o con patrones. Así, la duración puede medirse contando las oscilaciones de un sistema oscilante, adoptado como patrón del tiempo. Pero las mediciones directas son la excepción en la ciencia pura, no la regla. Además, para fines de registro o protocolo es conveniente reducir toda medición a mediciones de ángulo y/o longitud. Esta reducción se hace por medio de determinadas fórmulas que vinculan las varias magnitudes no-geométricas con ángulos y longitudes. En particular, enunciados de esa clase pueden establecer relaciones entre magnitudes no observables y ángulos y longitudes observables. Dicho de otro modo: los enunciados legaliformes y las definiciones son de uso frecuente en las mediciones como objetificadores de propiedades y relaciones no-observables; por medio de tales fórmulas de leyes se construyen las escalas materiales de los instrumentos eléctricos.

Ejemplo 1. Puede hacerse que la duración de un proceso corresponda al cambio de posición de una aguja en la escala de un cronómetro. En este caso se utiliza la relación lineal "$t = k\alpha$" entre los tiempos y los desplazamientos regulares. La indicación deja de ser correcta si la relación falla, como ocurre con los relojes estropeados o con las revoluciones de nuestro planeta alrededor del Sol, las cuales satisfacen una ley más complicada. *Ejemplo* 2. Las mediciones más corrientes de la temperatura se basan en la dependencia respecto de la temperatura en que se encuentran los tamaños de ciertos cuerpos especialmente sensibles a los cambios de temperatura, como el mercurio y el alcohol. También en este caso se supone la vigencia de una relación lineal entre la longitud y la temperatura de la sustancia termométrica, relación que objetifica la temperatura. Es claro de nuevo que esta relación está muy lejos de ser fruto de una posición convencional: es un enunciado legaliforme parcialmente verdadero que deja de serlo más allá de ciertos intervalos limitados. *Ejemplo* 3. La intensidad de una necesidad o estímulo como el hambre puede medirse por la cantidad de jugo gástrico segregado por el sujeto a la vista de alimentos. A su vez, la cantidad de jugo gástrico puede expresarse como volumen y, por último, las mediciones de volumen pueden reducirse a mediciones de longitudes en tubos de sección constante conocida.

¿Por qué se eligen corrientemente ángulos y longitudes como variables independientes para la medición, y no, por ejemplo, duraciones y pesos? No parece haber para ello más razón sino el hecho accidental de que el sentido humano más agudo es la vista. Podría haber seres racionales no humanos que dispusieran de una percepción más aguda de la duración o hasta de la carga eléctrica, que del tamaño y la forma. La posición central del ángulo y la longitud en la medición no parece deberse a ninguna prioridad ontológica o fundamentalidad física del espacio, sino a un rasgo de nuestro aparato perceptual; pero esta conjetura puede resultar también falsa. Algunas magnitudes no están relacionadas con las geométricas por medio de enunciados de leyes presentes en alguna teoría fundamental, por lo que las fórmulas disponibles serán insuficientes para fines de medición.

Por ejemplo, la teoría del circuito eléctrico suministra fórmulas que relacionan el voltaje con la corriente de un circuito, pero ninguna de esas magnitudes es geométrica y, consiguientemente, esa teoría "carece de significación operativa", cualquiera que sea el sentido de esta expresión entrecomillada. Si deseamos medir tales magnitudes, tenemos que buscar enunciados de leyes que contengan el mensurandum y alguna magnitud geométrica. Tal es la tarea del *diseño de instrumentos.*

Supongamos que queremos medir la intensidad de una corriente eléctrica, que es un caso típico de inobservable. No lo conseguiremos por el simple procedimiento de observar el circuito en el cual está la corriente: tendremos que construir antes un efecto observable de la corriente sobre algún sistema que no sea el circuito mismo. Dicho de otro modo: tenemos que construir una *interacción* entre el sistema sometido a medición y algún expediente de medición, para que el primero pueda modificar el segundo de un modo observable. En el caso de la corriente eléctrica, se conocen sistemas que pueden servir de indicadores de lo que ocurre en el circuito: por ejemplo, una aguja magnética, porque las corrientes eléctricas están envueltas en campos magnéticos que entran en interacción con imanes. Más precisamente: el desplazamiento angular de una aguja magnética será un indicador objetivo de la intensidad de la corriente. La relación precisa entre las dos variables se establece en la teoría de la medición eléctrica.

Tienen que cumplirse ciertas condiciones para que el desplazamiento de la aguja constituya un indicador objetivo *fiable* de la corriente eléctrica. En primer lugar, la aguja y, en general, el instrumento de medición, debe recoger la señal interesante sin interferencia apreciable del resto del mundo y, en particular, sin intervención del operador: si así no fuera no estaríamos midiendo lo que deseamos medir, sino alguna otra cosa mucho más compleja. Para concentrar la medición sobre el mensurandum y minimizar las perturbaciones externas debemos empezar por aislar el complejo objeto-instrumento. Por ejemplo: encerraremos nuestros instrumentos eléctricos en una pantalla de Faraday, o colocaremos nuestro perro en una jaula de observación de las de Pavlov. En todo caso, nuestro instrumento registrará el resultado de su interacción con el objeto medido y con el resto del mundo, y por eso debemos proyectar el dispositivo de tal modo que la segunda interacción resulte despreciable respecto de la primera (cf. fig. 13.12). Si nuestro aparato carece de dispositivos de maniobra y registro automáticos, nos veremos obligados a practicar las lectura mientras está en curso la interacción, corriendo el riesgo de perturbar el objeto de un modo imprevisible y, consiguientemente, el de adulterar el resultado. Ésa es

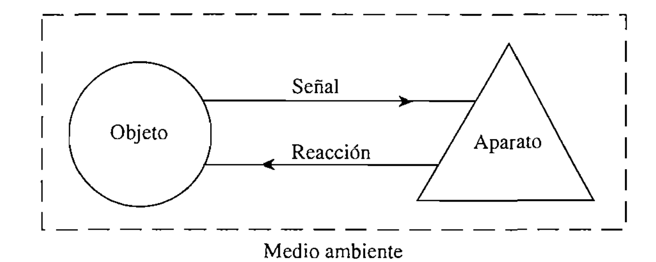


FIGURA 13.12. El aislamiento parcial del complejo objeto-instrumento de medición del resto del mundo. La pantalla aisladora (línea punteada) tiene que reflejar o absorber la mayor cantidad posible de señales externas.

una de las razones por las cuales se prefieren los instrumentos completamente automáticos. En todo caso, las mediciones exactas no son un caso especial de la interacción sujeto-objeto: el sujeto conocedor no es sin más algo que perturba la interacción objetiva objeto-aparato, sino también el que la establece y el que interpreta su resultado. En el caso ideal, el observador entra en juego cuando ya se ha consumado la interacción, para recoger e interpretar los signos dejados en el instrumento por su interacción con el objeto. Por tanto, el objeto de la epistemología no es el objeto de la medición, sino el entero complejo objeto-instrumental de medición.

Otra condición que debe cumplir la proyección ideal de instrumentos es que la *reacción* del aparato sobre el objeto sea despreciable o calculable. En el caso de las mediciones de la corriente eléctrica, los movimientos de la aguja magnética inducirán una corriente nueva en el circuito, la cual producirá a su vez un pequeño desplazamiento angular de la aguja. Esperamos que esa corriente adicional sea muy pequeña comparada con la inicial, o, al menos que sea calculable esa parte del efecto, de tal modo que podamos inferir el valor de la corriente inicial *cuando no se la está midiendo.* En realidad, ese valor real y sin perturbar no puede conseguirse mediante mera medición, sino sólo con la ayuda de la teoría. Todo experimentador tiene en cuenta la perturbación e intenta atribuirle un determinado valor numérico. En el caso de las mediciones eléctricas con instrumentos más finos que la modesta aguja magnética, se mide por separado la resistencia eléctrica interna del aparato y se la tiene en cuenta para corregir el valor medido. En general, podemos decir que el efecto original se distribuye entre el efecto medido y la perturbación de medición, y que una buena concepción del instrumento minimiza la perturbación y da medios para estimarla. Llamando $m(E)$ al resultado bruto de la medición y ΔE a la perturbación por medición –o sea, la fracción de corriente que se disipa en el amperímetro–, podemos decir que el valor real del efecto es $E = m(E) + \Delta E$. Para un empirista estricto sólo tiene sentido $m(E)$, mientras que E y ΔE son excrecencias metafísicas. El hecho de que los científicos son muy agudos y tenaces en la práctica de correcciones de ese tipo, y el de que adoptan los valores corregidos E, y no los valores $m(E)$, indica que no practican (piensen lo que piensen) una filosofía empirista de los procedimientos empíricos.

*Las mediciones microfísicas plantean problemas que desbordan las fronteras de este libro. Nos limitaremos a lo que sigue. Hay mediciones invasivas y no invasivas. Las primeras alteran el valor de la variable que se mide, cosa que no hacen las segundas –pese a lo cual éstas son ignoradas por casi todos los autores. La alteración en cuestión se debe a la acción del instrumento de medición sobre el objeto que se mide. Este efecto puede ser enorme. Por ejemplo, al intentar medirse la posición de un electrón se lo comprime, lo que a su vez da como resultado el que su momento se torna borroso. (Éste es el teorema de indeterminación, de Heisenberg: $\Delta x \cdot \Delta p \geq 2\, h/2\pi$, donde Δx y Δp son las varianzas de la posición y del momento respectivamente, y h es la constante de Planck.) Esto plantea un problema filosófico que se viene discutiendo desde 1925: el de si la medición de la posición crea tanto esta propiedad como su dispersión, o bien éstas existían antes. Si lo primero ¿es ésta obra del experimentador, o incluso de su mente, o puede darse también en la naturaleza, de resultas de una interacción macro-micro? La escuela de Copenhague es subjetivista, puesto que sostiene que toda propiedad surge al conjuro del experimentador: que no existen cosas en sí, sino sólo cosas para el sujeto que conoce. (Los clasicistas,

que también son realistas, creen que el electrón tiene propiedades clásicas, tales como una posición precisa, que precede a su medición.) Esta interpretación es falsa, como lo muestra el hecho de que el teorema de Heisenberg se deduce sin hacer suposición alguna sobre instrumentos ni observadores: la relación recíproca entre las dispersiones de la posición y el momento es una ley natural que preexiste a la física. O sea, normalmente la posición y el momento del electrón son imprecisos o borrosos, pero el ancho de estas dispersiones puede cambiar cuando el electrón interactúa con un sistema macrofísico, sea natural o artificial. (Más precisamente, si se axiomatiza la mecánica cuántica se advierte que sus axiomas no contienen ninguna referencia a experimentos ni observadores: es una teoría puramente física. Si se refiriese a observadores, daría cuenta de sus procesos mentales y condiciones presupuestarias.) Esta interpretación fue confirmada en 1981 por los experimentos de A. Aspect y otros, los que refutaron la hipótesis de que hay variables dinámicas "ocultas", o sea, carentes de dispersión. Curiosamente, se afirmó que estos experimentos refutaron el realismo, cuando de hecho sólo refutaron la visión clasicista. En efecto, todo experimento presupone el realismo, ya que maneja cosas, tales como electrones e instrumentos de medición, cuya existencia objetiva no se pone en duda. En resumen, el realismo científico no ha sido afectado por la teoría cuántica ni por la experimentación. Lo que ha ocurrido es que la primera fue interpretada incorrectamente a la luz del neopositivismo. Moraleja: el filósofo que toma parte activa en controversias científicas puede contribuir al avance o al retroceso de la ciencia.*

El tercer requisito que debe cumplir un buen diseño de instrumentos es el basarse en supuestos precisos sobre la relación entre el mensurandum y el efecto observado, y, más precisamente, supuestos que estén razonablemente confirmados. Supongamos que un proyectista de instrumentos sostiene que un aparato diseñado por él "define" la humedad. Se le preguntaría entonces: '¿Cómo podemos saber que su instrumento mide efectivamente lo que usted dice?' Si el proyectista no puede ofrecer una *teoría independientemente contrastada* que explique por qué su aparato mide efectivamente la humedad, y no la timidez, por ejemplo, se le considerará no un físico, sino a lo sumo un aficionado a practicar experimentos psicológicos con quienes le oyen. Éste es, en todo caso, el punto en el cual se suelen introducir magnitudes geométricas en el diseño de instrumentos. Tratándose de un amperímetro, su escala material y, consiguientemente, nuestras lecturas de ella, se basan en una determinada ley que correlata corrientes eléctricas con ángulos de la aguja. Dicho de otro modo: el esquema de un amperímetro se basa en un enunciado legaliforme que correlaciona la intensidad de la corriente con el movimiento angular de un pequeño imán (más propiamente, electroimán) retenido por un muelle; el proyecto del instrumento se basa en una fórmula teorética del tipo "$i = f(\alpha)$" que objetifica la inobservable intensidad de la corriente, i, como ángulo observable, α. Esa relación no se encuentra ni en teoría de la electricidad sola ni en la mecánica sola, sino que se establece en la teoría de los instrumentos eléctricos, que utiliza fragmentos de electrodinámica y de la mecánica. Hay otros modos de medir corrientes eléctricas, pero todos se basan en hipótesis precisas referentes a la relación mensurandum-indicador observable.

En resolución: el buen trabajo de diseño y uso de instrumentos supone cierto número de fragmentos de teorías, a saber, aquellas piezas teóricas que se refieren a la relación entre el mensurandum y magnitudes físicas observables. Así se relacionan varias teorías

que desde el punto de vista lógico son en realidad independientes unas de otras. Por ejemplo, aunque la mecánica clásica es independiente de la óptica, las *contrastaciones* comúnmente aplicadas a la primera suponen de un modo u otro algunas hipótesis propias de la segunda, y a la inversa. El núcleo del cuerpo de teoría presupuesto al proyectar un instrumento es tanto mayor cuanto más indirecta y más precisa es la medición. Baste con recordar las teorías implicadas por la medición de masas atómicas: su función en la adición consiste en suministrar los eslabones de una larga cadena que va desde el concepto trasobservacional "masa atómica" hasta conceptos descriptivos como "amplitud de oscilación de una mancha luminosa en la pantalla de un osciloscopio".

El trabajo del proyectista de instrumentos culmina con la elaboración detallada de una técnica de medición. (El observador humano puede considerarse desde este punto de vista como un instrumento de una clase especial, y su entrenamiento para la realización de la observación científica como el análogo de la construcción del instrumento.) El resultado final del trabajo de diseño de instrumentos es un conjunto de diagramas y fórmulas que representan las ideas concebidas por el proyectista. Siempre hay un hiato entre el boceto concebido por el científico (a veces ayudado por un técnico) y el aparato efectivamente construido por los técnicos o por el científico mismo: los únicos planos que pueden realizarse con toda precisión son los muy groseros o simples. El hiato se manifiesta sobre todo al determinar el rendimiento del aparato (calibrar). Puede ocurrir que el instrumento no sea siquiera realizable de momento por falta de conocimiento tecnológico o de capacidad práctica material. Pero incluso cuando es realizable, es corriente que se plantee toda una serie de problemas imprevisibles sin solución perfecta: habrá inperfecciones en la consecución de espacios estancos, habrá materiales que se degraden demasiado rápidamente para los fines previstos, habrá imprecisiones en la división de la escala material, etc. Muchas de esas deficiencias podrán remediarse añadiendo nuevas piezas al aparato, como los tornillos para regulación del nivel, los estabilizadores de voltaje, etc. Pero también esos expedientes de corrección material presentarán sus deficiencias propias. Por tanto, no es posible conseguir instrumentos de medición que sean perfectos. Lo más que podemos obtener, y por ello nos esforzamos, es instrumentos *perfeccionados* respecto de los de una fase anterior. De acuerdo con lo que ya hemos dicho, los instrumentos perfeccionados se basarán en especificaciones o conclusiones particulares de una técnica de instrumentación ella misma perfeccionada, la cual responderá a su vez a una teoría de los instrumentos también corregida por su parte; y todo eso depende en última instancia de un perfeccionamiento de la teoría básica. La teoría es, pues, la base de la medición, y no al revés.

La medición propiamente dicha empieza cuando los instrumentos necesarios están ya proyectados, construidos y calibrados. Pasaremos por alto los muchos detalles técnicos de la manipulación de instrumentos –la cual no tiene relevancia filosófica salvo para el pragmatismo y pasaremos a sus resultados.

Problemas

13.5.1. Analizar una técnica de medición directa.

13.5.2. Analizar una técnica de medición indirecta.

13.5.3. Dar una breve descripción de algún aparato de medición que sea familiar en la vida cotidiana, como el velocímetro de un automóvil, o los contadores domésticos del gas y la electricidad, y precisar cuáles son los elementos de teoría física supuestos por su proyectista y por la lectura de sus resultados.

13.5.4. Discutir la relevancia que tienen técnicas de fechado, como la del carbono radiactivo, para la paleontología y la antropología. Cf., por ejemplo, D. Brothwell y E. Higgs (eds.), *Science in Archaeology*, Nueva York, Basic Books, 1963. Sobre las contrastaciones llevadas a cabo para confirmar la sospecha de que el hombre de Piltdown había sido un fraude, véase el entretenido libro de I. Adler, *Stories of Hoaxes in the Name of Science*, 1957, Nueva York, Collier Books, 1962.

13.5.5. ¿Se descubren las leyes gracias a mediciones, o simplemente se someten a contrastación mediante mediciones que suponen o se basan en otras leyes? *Problema en lugar de ése*: Examinar la técnica de medición (propiamente, cálculo) de las distancias planeta-sol y estimar la función que desempeñan en ella elementos teóricos. Recuérdese que hay por lo menos tres teorías que intervienen en cualquier cálculo astronómico de esa clase: la mecánica (es decir, las leyes del movimiento, por ejemplo), la teoría de la gravitación (principalmente, la ley gravitatoria de Newton) y la óptica (por ejemplo, la teoría de la aberración de la luz).

13.5.6. ¿Qué hace la medición: producir ella misma las propiedades medidas u objetificarlas y registrarlas? *Problema en lugar de ése*: Analizar el método del cero para las mediciones eléctricas, método en el cual no se consideran más lecturas que las de valor cero. En esta técnica se ajustan los voltajes de las diferentes partes de un circuito hasta que se equilibran, de tal modo que no circula corriente alguna. La aplicación de esta técnica se basa en fórmulas teoréticas que se contrastan independientemente mediante lecturas, practicadas en aparatos de medición. En psicofísica se emplea una técnica similar.

13.5.7. ¿Por qué se arbitran técnicas diferentes para medir la misma cantidad? ¿No podríamos contentarnos con la técnica más precisa y abandonar las demás?

13.5.8. Partiendo del hecho de que es conveniente reducir todas las mediciones a mediciones de ángulo y/o longitud, se ha inferido que todas las magnitudes son "en el fondo" ángulos o longitudes. ¿Es correcta esa conclusión? *Problema en lugar de ése:* Especular acerca de la posibilidad de que haya seres racionales no humanos sensibles a la radiación infrarroja (emitida por todos los cuerpos calientes), pero insensibles a la clase de luz a la que nosotros reaccionamos. ¿Qué clase de instrumentos de medición usarían probablemente esos seres?

13.5.9. Hacer un análisis metodológico detallado de cualquier manual de medición psicológica.

13.5.10. Estudiar el problema de la medición a la luz de la mecánica cuántica. En particular, estudiar si es lógico el hacer referencia a mediciones en los axiomas de la teoría de los *quanta,* teniendo en cuenta que la teoría tiene que estar ya disponible antes de poder aplicarla a una discusión de las mediciones a la luz de dicha teoría; por eso la teoría cuántica de la medición debe aparecer, en todo caso, al final y no al principio de un tratado de mecánica cuántica. Cf. J. A. Wheeler y W. H. Zureck (comps.), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton, NJ, Princeton University Press, 1983; M. Cini y J. M. Lévy-Leblond (comps.), *Quantum Theory without Reduction*, Nueva York, Adam Hilger, 1990.

13.6. *RESULTADO*

Una vez proyectado, construido y contrastado un equipo de medición (cf. sección anterior), puede empezar la medición propiamente dicha. Los resultados brutos de una serie de mediciones serán un conjunto de números: así, por ejemplo, una determinada medición de masa puede dar 100 números ligeramente diferentes, o sea, 100 respuestas al problema inicial (cf. fig. 13.13). Estos datos en bruto tienen que elaborarse y condensarse en búsqueda de una respuesta única, porque sólo un dato refinado es adecuado para la interpretación y el cálculo, y porque sólo esa información refinada y única puede suministrarse al aparato teórico para contrastar la teoría o derivar de ella otros datos. Dicho de otro modo: el registro final de una serie de mediciones no será un conjunto de resultados brutos de mediciones, sino un enunciado único que represente la serie entera. Esta representación se hace a través de dos conceptos estadísticos: la media $m(\dot{r})$ del conjunto de los valores medidos y la dispersión o desviación estándar, σ, del conjunto alrededor de la media. Así, por ejemplo, la exploración de Venus por el Mariner II (1962) dio entre otros el siguiente resultado de medición: "La masa de Venus es 0,81485 veces la de la Tierra, con un error estándar del 0,015%." En este caso la media era 0,81485 u, siendo u la unidad de masa, y el error estándar era $\sigma = (0{,}015/100) \times 0{,}81485 \cong 0{,}00012$. En general, un valor estimado sobre la base de una serie de mediciones se expresará en la forma (cf. sec. 13.2):

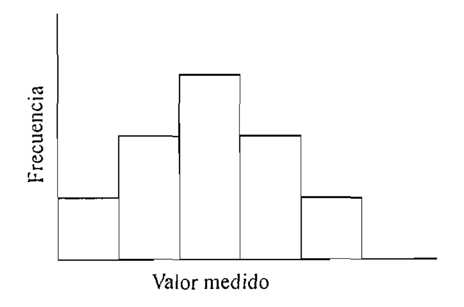


FIGURA 13.13. Un histograma (imaginario) o distribución de frecuencias que muestra los resultados de una serie de mediciones. La ordenada indica el número de valores medidos aproximadamente idénticos.

$$m(\dot{r}, \dot{s}) = \bar{m}(\dot{r}) \pm \sigma \qquad [13.6]$$

Atendamos ahora al proceso de elaboración de los datos y a su resultado final. Como vimos en la sec. 12.4, los principales estados de elaboración de los datos son la estandarización o normalización, la sistematización, el estudio de los errores y el cómputo del valor "exacto" (medio). La normalización de las lecturas es la reducción de éstas a un medio ambiente uniforme ideal (condiciones normales de presión y temperatura), de tal modo que los datos puedan compararse con valores obtenidos por otros investigadores. La sistematización de los datos es su despliegue ordenado en forma de tablas, distribuciones de frecuencia (histogramas), etc.; esta fase puede llegar hasta el resumen de los datos y su generalización en curvas empíricas o funciones empíricas. En la sec. 12.4 he-

mos hablado ya de la reducción y la sistematización de los datos; echemos ahora un vistazo a los dos últimos estadios de la elaboración de datos.

Una vez sistematizados, los datos de medición se examinan en búsqueda de errores experimentales. Los errores de observación y medición son de dos clases: sistemáticos y al azar o casuales. Los *errores sistemáticos* se deben a deficiencias del planeamiento o de la ejecución de la medición. Por ejemplo, el sistema de iluminación puede calentar excesivamente el objeto sometido a medición, produciendo una deformación sistemática en el sentido de la exageración de las longitudes; o bien las fluctuaciones de la presión atmosférica pueden producir cambios en el volumen de un gas. En el primer caso puede eliminarse o debilitarse considerablemente la fuente de error; en el segundo puede calcularse la corrección por medio de una fórmula teorética. Los errores sistemáticos son, pues, aquellos que resultan de ignorar variaciones del medio (insuficiente aislamiento del complejo aparato-objeto) o de irregularidades del equipo: aparecen como deformaciones unilaterales del valor real, y pueden en principio eliminarse o corregirse por medio de la teoría. Los errores sistemáticos son a menudo descubribles sometiendo a prueba el dispositivo, controlando mediante técnicas independientes los resultados obtenidos, o bien con la ayuda de la teoría. Cuando se descubren errores sistemáticos, lo mejor es volver a examinar todo el dispositivo, reajustarlo y volverlo a contrastar, así como repetir luego toda la serie de mediciones. El aumentar sin reflexión el número de mediciones no sirve para nada cuando se trata de errores sistemáticos; y esto vale, naturalmente, para toda clase de error. Cosa diversa ocurre con los errores no sistemáticos o casuales.

El mejor modo de descubrir y dominar los errores sistemáticos consiste en examinar la distribución de un gran número de valores medidos: esos valores no se dispersan por lo general simétricamente más que si actúan influencias casuales, no-sistemáticas. En cambio, si durante las mediciones ha estado obrando alguna influencia constante, la distribución de los valores medidos manifestará alguna unilateralidad o inclinación. Más precisamente: un conjunto numeroso de valores medidos sin error sistemático se encontrará por lo común a lo largo de una curva simétrica acampanada como la de la figura 13.14. (En realidad esa curva es teorética: se obtiene gracias al supuesto de la casualidad estricta para una población infinita de datos en bruto y con la ayuda de la teoría de la probabilidad.)

*Los valores más frecuentemente hallados son próximos al valor medio o "exacto" $\overline{m}$, en torno al cual se sitúan todos los demás: $\overline{m}$ es el valor más probable. La amplitud de la dispersión de las lecturas en torno a la media $\overline{m}$ se expresa por la mitad del margen, lla-

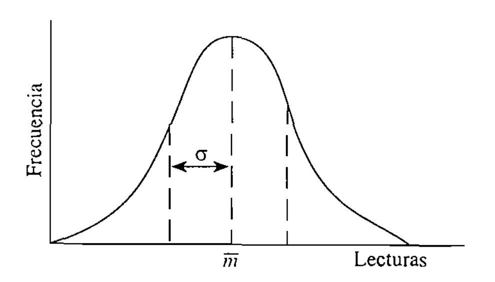


FIGURA 13.14. La distribución de Gauss: curva teorética a la que se aproximan la mayoría de los datos cuantitativos. Cf. fig. 13.13.

mada *error estándar*. La probabilidad de que una lectura determinada se encuentre entre $\bar{m} - \sigma$ y $\bar{m} + \sigma$ es aproximadamente de 0,68, y la probabilidad de que se encuentre entre $\bar{m} - 2\sigma$ y $\bar{m} + 2\sigma$ es 0,95. El *error probable* es aproximadamente 0,68σ. El *error exacto* es, obviamente, tan desconocido como el valor exacto. Pero podemos calcular la *probabilidad* de que el error real, pero desconocido, rebase el error probable calculado. Para una distribución de la forma indicada, las probabilidades se equilibran, y hay una probabilidad por cada 4,5 de que rebase incluso 2σ. El error probable del error probable disminuye con el error probable mismo y con el aumento del número de observaciones: se expresa por $0{,}48/n^{1/2}$.*

Si no hubiera influencias casuales actuando permanentemente en y sobre el complejo objeto-aparato, no habría tampoco errores casuales, o sea, tendríamos $\sigma = 0$. Una buena técnica de medición no ignora esos errores, sino que minimiza el margen de error 2σ. ¿Puede llevarse este desideratum hasta el límite constituido por la medición libre de errores? Antes de enfrentarnos con esta importante cuestión debemos introducir una distinción entre precisión y exactitud. La *exactitud* de una medición depende de la técnica y del error sistemático: una medición exacta es aquella que (*i*) mide precisamente lo que quiere medir y (*ii*) está prácticamente exenta de error sistemático. Las dos condiciones son recíprocamente independientes: la primera depende del planeamiento de la medición, y la segunda depende de la calidad de su realización. Por ejemplo: es posible aplicar un test de inteligencia de un modo prácticamente exento de error sistemático, pero sin que lo medido sea la inteligencia natural, sino el acervo de información, o memoria, y en este caso no dará resultados exactos. La *precisión* de una información libre de error sistemático depende a la vez de la técnica y del error casual: cuando menor es σ, tanto mayor la precisión. (Más precisamente: la precisión h de un conjunto de lecturas queda dada por la fórmula $h = 1/\sigma\, 2^{1/2}$.) Por ejemplo: la precisión de las mediciones del tiempo por medio de cronómetros es de una décima de segundo, mientras que la de masers y lasers es de uno por 10^{11}.

Supongamos que hemos podido identificar los errores sistemáticos de una medición y reconducirlos a perturbaciones eliminables o calculables, o a inexactitudes en la proyección o la ejecución del trabajo, y que un análisis teorético de nuestra técnica revela que dicha técnica mide realmente lo que se desea medir con ella. Supongamos, en resumen, que hemos realizado mediciones *exactas*: ¿podremos eliminar los errores casuales y conseguir así la *precisión completa* ($\sigma = 0$)? Para dar respuesta a esa pregunta no nos hace falta esperar futuros perfeccionamientos de las técnicas de medición: basta nuestro conocimiento actual. Y la respuesta es compleja. si el mensurandum no puede tomar más valores que los múltiplos enteros de una unidad elemental (como la carga del electrón o la unidad de momento angular), puede conseguirse en principio la precisión completa, aunque tal vez haya que esperar, para conseguirlo en la práctica, progresos técnicos. Pero si el mensurandum es una magnitud continua, como la posición o el momento lineal, existen dos limitaciones naturales de la precisión: (*i*) la más fina división de la escala pone un límite al margen de error, y la tarea de ir aumentando la finura de las divisiones de la escala tiene sus limitaciones técnicas; (*ii*) el error casual no puede reducirse más allá de un cierto umbral que es el "ruido" de fondo, o fluctuación al azar (por ejemplo, el movimiento browniano) que es intrínseco a todo sistema macroscópico. Puede reducirse el "ruido"

mejorando el aislamiento del sistema –en particular, mediante el control a distancia– y operando a baja temperatura, pero ninguno de esos procedimientos eliminará completamente las fluctuaciones casuales. En resumen: existen límites en el intento de disminuir el valor de la razón ruido-señal.

De lo anterior parecen desprenderse con naturalidad las siguientes conclusiones. Primera: el error experimental no debe ocultar el valor medido. O sea, el error sistemático y el error casual sumados no deben ser tan considerables como para impedir que se detecte la señal. (Formulado brevemente, Min $\{\bar{m}\} \gg \sigma$.) En los primeros pasos de una línea o programa de investigación pueden presentarse, sin embargo, errores del cien por cien, y hasta más grandes, por lo que sólo se estiman en esas fases los órdenes de magnitud. Así ha ocurrido con muchas antiguas mediciones en física atómica, y sigue ocurriendo en las mediciones astronómicas que sirven para contrastar teorías cosmológicas. Segunda: los errores experimentales, si son puramente casuales, no son *errores* propiamente dichos, no son equivocaciones: a diferencia de los errores sistemáticos, que se deben a la ignorancia de factores perturbadores, los errores casuales están en la naturaleza de las cosas, y no son una ilustración o ejemplo de la falibilidad humana.

*La cuestión no es puramente verbal: se obtiene interpretaciones diferentes de la mecánica cuántica, si las desviaciones estándar Δx y Δp que intervienen en las desigualdades de Heisenberg se interpretan (*i*) como incertidumbres subjetivas o (*ii*) como fluctuaciones aleatorias del sistema mismo, (*iii*) como efectos del acoplamiento del microsistema con el aparato de medición, o (*iv*) como medidas de la borrosidad objetiva de las cosas microfísicas. Tercera: contrariamente a una creencia muy corriente, el carácter discreto de ciertas magnitudes, como el momento angular, no es una fuente de errores irreductibles de medición, sino que posibilita la medición precisa (libre de errores), por lo menos en principio. En este caso las perturbaciones casuales pueden mantenerse por debajo del umbral necesario para registrar la transición de un valor de la magnitud a otro, lo cual no ocurre cuando la magnitud puede variar por cantidades tan pequeñas como se quiera. La imprecisión propia de las mediciones de magnitudes continuas se compensa un tanto por la precisión alcanzable en principio en la medición de magnitudes con un espectro de valores numerables. La espectroscopia ha sido la primera ilustración de este hecho.*

Volvamos ahora a la elaboración de datos en bruto expuestos en un histograma o gráfico de errores. La forma del gráfico, particularmente la cima y la anchura de la dispersión, dependerá del número de mediciones. Es deseable tomar un gran número de lecturas, con objeto de dar cabida al mayor número posible de desviaciones casuales que se contrapesen: es beneficioso que aparezca una gran variedad de errores casuales. A medida que aumenta el número de las mediciones practicadas con un mismo equipo, el centro de distribución de los valores, o sea, $\bar{m}$, se irá normalmente acercando a un valor determinado –dejando aparte las ocasionales fluctuaciones en tramos pequeños. Si las cosas no discurren así, es que el equipo material tiene una tendencia en algún preciso sentido. Esta convergencia del valor medio o “exacto” hacia un número determinado se llama *convergencia interna*. Un buen dispositivo de medición debe dar resultados internamente convergentes, o sea, los valores medios que deben ser suficientemente estables.

*Condición necesaria para conseguir la convergencia interna es que las sucesivas operaciones de medición hechas con el aparato o equipo sean independientes unas de otras.

Dicho de otro modo: condición necesaria para estabilizar el centro de la distribución de los valores medidos es que ninguna medición ejerza influencia sobre otra, o sea, que el equipo o aparato tenga mala memoria. Si el estado del instrumento de medición depende críticamente de alguno de sus resultados previos, entonces los varios resultados no serán estadísticamente independientes, sino que estarán correlatados. Dicho de otro modo: el tiempo de recuperación (relajación) del dispositivo de medición *tiene que ser más corto* que el intervalo de tiempo entre las mediciones. Consiguientemente, la tarea que consiste en seguir los estados sucesivos de un objeto –por ejemplo, las sucesivas posiciones de una partícula– a intervalos muy cortos puede llegar a ser muy difícil, si no ya incluso imposible. En todo caso, siempre habrá instrumentos que se recuperen más rápida y completamente que otros, pero nunca hay garantía de que todas las huellas dejadas por un acto de medición (especialmente las huellas térmicas y magnéticas) vayan a desaparecer antes de hacer la siguiente lectura.*

Los progresos en la proyección de instrumentos mejorarán la independencia estadística de los actos de medición y, consiguientemente, la precisión. Dicho brevemente: los progresos de la técnica van acompañados por un proceso de *convergencia externa* por el cual se reducen progresivamente los errores casuales: las nuevas curvas son más espigadas que las viejas. La física clásica confiaba en que el proceso de convergencia externa fuera disminuyendo constantemente los errores casuales hasta llegar a cero, o, por lo menos, en que no se encontraría obstáculo invencible en la marcha hacia una disminución indefinida. El descubrimiento de las fluctuaciones térmicas en primer lugar y, luego, el de las fluctuaciones cuánticas ha impuesto un objetivo más modesto. Todo lo que deseamos hoy es ser capaces de determinar los límites de tales fluctuaciones y, en un estadio posterior, poder analizar acaso esas fluctuaciones por medio de procesos más fundamentales.

Con eso termina nuestra exposición de la medición. La explicación más corriente de la misma, al tomar como centro la construcción de escalas de medición y el manejo de los instrumentos, puede ignorar la riqueza conceptual de los procedimientos de medición. En nuestra exposición, por el contrario, hemos visto que la medición propiamente dicha es un eslabón de una cadena más bien larga de operaciones conceptuales y empíricas, a saber: *Concepción* clara del mensurandum y del objetivo de la medición con la ayuda de una teoría – *Objetificación* del mensurandum por medio de enunciados de leyes – *Concepción* de una escala de medición ideal (con un cero y una unidad si es métrica) – *Realización* de una *escala material* que refleje la escala conceptual – *Proyección* del equipo, basada en teorías relevantes – *Construcción* del equipo (frecuentemente con la ayuda de la tecnología, basada en fragmentos de ciencia pura) – *Contrastación* del equipo (ídem) – *Corrección* del equipo (ídem) – MEDICIÓN – *Normalización* de las lecturas con la ayuda de la teoría – *Sistematización* de los datos – *Búsqueda* de errores sistemáticos – *Cómputo* del valor "exacto" (medio) y del error estándar (con la ayuda de la estadística matemática).

El análisis de la medición nos ha llevado muy lejos de la simplista doctrina que lo reduce todo a echar un vistazo a la escala y concluir sin más. El estudio del experimento nos llevará aún más lejos de esa doctrina.

Problemas

13.6.1. Practicar un análisis estadístico de una serie de mediciones. *Problema en lugar de ése*: Un cronómetro adelanta una hora cada día. ¿Qué puede hacerse para obtener resultados exactos antes de llevarlo a reparar?

13.6.2. ¿Cómo compararíamos las precisiones de diferentes instrumentos proyectados para el mismo fin? *Problema en lugar de ése*: ¿Qué puede hacerse con un equipo de medición que manifieste un comportamiento no convergente?

13.6.3. ¿Por qué se practican mediciones? ¿Son intrínsecamente valiosos los resultados de mediciones? ¿Y es ya investigación científica la mera ejecución de mediciones? *Problema en lugar de ése*: ¿Organizaríamos un instituto de física a base de las mediciones que existen en esa ciencia, por ejemplo, cronometría, termometría, etcétera?

13.6.4. ¿Se ocupa toda ciencia de mediciones? ¿Absorbe la medición toda o la mayor parte de la investigación científica? Cf. N. R. Campbell, *Foundations of Science*, 1919, Nueva York, Dover, 1957, p. 267: la física "puede casi describirse como la ciencia de la medición". *Problema en lugar de ése*: Examinar la opinión, difundida muy generalmente entre los historiadores de la ciencia, de que la ciencia moderna ha nacido de la medición y se ha desarrollado gracias a ella.

13.6.5. Tómese el informe de una medición publicado en alguna revista científica y estúdiese (*i*) si tiene sentido alguno fuera de todo contexto teorético, y (*ii*) si su valor veritativo y su significación pueden estimarse sin apelar a ninguna teoría. *Problema en lugar de ése*: La constante atómica que se conoce con más precisión no se refiere a cosas ni a acaecimientos observables: es la constante de Rydberg, que se presenta en la teoría atómica. ¿Qué sugiere esto respecto de la doctrina según la cual el conocimiento más preciso que posee el hombre es el conocimiento de sí mismo?

13.6.6. ¿Se repiten las mediciones (*i*) porque la repetición suprime los errores sistemáticos, o (*ii*) porque el obtener la media de grandes conjuntos de números mejora la calidad (exactitud) de la medición, o (*iii*) porque la variación del resultado es un índice de la reproducibilidad, o (*iv*) para aumentar el número de casos favorables y, con él, el grado de confirmación, o (*v*) porque los errores casuales tienden a compensarse, o (*vi*) porque un gran número de lecturas suministra una estimación fiable de la precisión? Advertencia: esas posibilidades no se excluyen unas a otras.

13.6.7. Los microscopios ópticos no pueden discriminar entre dos objetos a menos que su distancia no sea inferior a 10^{-5} cm. Esta limitación natural del poder resolutivo está impuesta por la longitud de onda de la luz. Se superó primero gracias a los rayos X, que tienen una longitud de onda mucho menor, y luego con la microscopia electrónica, la cual, por utilizar ondas aún más cortas (materiales), puede distinguir objetos separados por 10^{-7} cm. Ninguno de esos desarrollos podían sospecharse antes de nuestro siglo; en particular, el microscopio electrónico no pudo inventarse sino después que De Broglie conjeturara su relación recíproca entre longitud de onda y momento. Inferir alguna enseñanza sobre la prudencia con la cual deberían hacerse afirmaciones sobre límites insuperables.

13.6.8. Estúdiese el papel de la teoría en la formulación de problemas tales como "¿Qué debiéramos medir?" y "¿Cómo debiéramos medir?" Empiécese por considerar un par de ejemplos realistas.

13.6.9. Una precisa medición de longitud requiere una precisa medición de temperatura, la cual requiere a su vez una no menos precisa medición de longitud. ¿Es eso un círculo vicioso? Indicación: considerar una serie de mediciones alternativas de longitud y temperatura hechas con precisión creciente. Cf. R. Carnap, *Physikalische Begriffsbildung*, Karlsruhe, G. Braun, 1926, p. 36. *Problema en lugar de ése*: Todo conjunto de datos, estadísticos o derivados de mediciones, está afectado por irregularidades que tienden a enmascarar toda regularidad de los mismos. Esas

irregularidades accidentales se eliminan mediante ciertas técnicas de ajuste. Los procedimientos más antiguos de ese tipo carecían de fundamentación: consistían en forzar a los datos a acumularse a lo largo de curvas sencillas, como la parábola. Examinar cómo esas técnicas han pasado del estado empírico, dominado por el credo de la simplicidad, a su actual estado teorético, dominado por la teoría de la probabilidad. Cf. la obra inicial de E. Whittaker y G. Robinson, *The Calculus of Observation*, 4a. ed., Londres y Glasgow, Blackie & Son, 1944, cap. XI, o algún libro posterior sobre el tema.

13.6.10. Los actos de medición no son ni verdaderos ni falsos: pueden ser correctos o incorrectos, o buenos o malos, según que cumplan o violen las reglas relevantes previamente estipuladas. Se ha inferido de esa circunstancia que los resultados de la medición, expresados por enunciados de medición del tipo de 'El valor medido de x con el equipo tal o cual es igual a y con un margen de error z' no son ni verdaderos ni falsos. Examinar esa opinión. *Problema en lugar de ése*: Las mediciones no pueden dar más que números finitos (racionales, además) en cantidad finita. ¿Justifica eso el programa que pretende eliminar de las teorías factuales la infinitud y la continuidad, programa propuesto por filósofos que desconfían del infinito y de la continuidad porque son conceptos trasempíricos? ¿Y son esos conceptos factualmente sin-sentidos por el hecho de no tener contrapartida empírica? (Sobre las varias clases de significación, cf. sec. 3.5.)

BIBLIOGRAFÍA

Baird, D. C., *Experimentation: An Introduction to Measurement Theory and Experiment Design*, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1962, caps. 2 y 3.

Blalock, H. M. (ed.), *Measurement in the Social Sciences*, Nueva York, Macmillan, 1974.

Bohm, D., *Qantum Theory*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1951, cap. 22.

Bunge, M., *Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1967.

——, "A mathematical theory of the dimensions and units of physical quantities", en M. Bunge (comp.), *Problems in the Foundations of Physics*, Nueva York, Springer, 1971.

——, "On confusing, 'measure' with 'measurement' in the methodology of the behavioral sciences", en M. Bunge (comp.), *The Methodological Unity of Science*, Dordrecht, Reidel, 1973.

——, "Quantum mechanics and measurement", *International Journal of Quantum Chemistry*, 12, supl. 1: 1-13, 1977.

——, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transaction, 1999.

Campbell, N. R., *Physics: The Elements*, Londres, Cambridge University Press, 1920, reimpreso con el título de *Foundations of Science*, Nueva York, Dover, 1957, parte II.

Dumond, J. W. M., y E. R. Cohen, "Fundamental Constants of Atomic Physics", en E. U. Condon y H. Odishaw (eds.), *Handbook of Physics*, Nueva York, McGraw-Hill, 1958.

Ellis, B., *Basic Concepts of Measurement*, Cambridge, Cambridge University Press, 1968.

Feather, N., *Mass, Legth, and Time*, Edimburgo, Edimburgo University Press, 1959.

Isis, 52, parte 2, 1961, número dedicado a la historia de la cuantificación.

Jeffreys, H., *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1957, caps. IV-VI.

Kayan, C. F. (ed.), *Systems of Units*, Washington, American Association for the Advancement of Science, 1959.

Lenzen, V. F., *Procedures of Empirical Science*, vol. I, núm. 5 de la *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, University of Chicago Press, 1938.

Maiztegui, A. P., y R. J. Gleiser, *Introducción a las mediciones de laboratorio*, Buenos Aires, Kapelusz, 1980.
Margenau, H., *The Nature of Physical Reality*, Nueva York, MacGraw-Hill, 1950, cap. 18.
National Bureau of Standards, *Experimental Statistics*, Washington, US Government Printing Office, 1966, cap. 23.
Neumann, J. von, y O. Morgenstern, *Theory of Games and Economic Behavior*, 3a. ed., Princeton, Princeton University Press, 1934, sec. 3.4.
Pfanzagl, J., *Die Axiomatische Grundlage einer allgemeinen Theorie des Messens*, Würzburg, Physica-Verlag, 1959.
——, "A General Theory of Measurement. Applications to Utility", *Naval Research Logistic Quarterly*, *6*, 283, 1959.
Sadosky, M., *Cálculo numérico y gráfico*, Buenos Aires, Librería del Colegio, 1952.
Schultzer, B., *Observation and Protocol Statement*, Copenhagen, Muksgaard, 1938.
Stein, P. K., *Measurement Engineering*, vol. 1, 3a. ed., Phoenix, Sietn Engin. Service, 1965.
Whittaker, E., y G. Robinson, *The Calculus of Observation*, 4a. ed., Londres y Glasgow, Blackie & Son, 1944.
Wilson, E. B. Jr., *An Introduction to Scientific Research*, Nueva York, McGraw-Hill, 1952.

14. EXPERIMENTO

El experimento científico es la más rica de todas las formas de experiencia humana: añade a la observación el control de ciertos factores con base en supuestos teoréticos y, cuando es preciso, supone medición. El experimento científico, cuando se realiza con su ayuda y se orienta a contrastar ideas, resulta ser propiamente el método experimental. Y el método experimental se considera a su vez frecuentemente como característico de la ciencia moderna. Por tanto, el estudio del experimento científico tiene interés para el científico mismo, para el filósofo y para el historiador de las ideas.

14.1. CAMBIO PLANIFICADO

Cuando oímos el canto de un pájaro sin haber estado observando al animal, tenemos una experiencia espontánea. En cambio, si le prestamos intencionada atención, aunque no oigamos su canto estamos teniendo una experiencia dirigida. Y si además registramos el canto y tomamos nota de las circunstancias concomitantes, nuestra experiencia se convierte en una observación propiamente dicha que puede ponerse al servicio de alguna finalidad científica. Pero en ninguno de esos casos se ha practicado un experimento científico en sentido propio: por definición, el *experimento* es aquella clase de experiencia científica en la cual *se provoca deliberadamente algún cambio* y se observa e interpreta su resultado con alguna *finalidad cognoscitiva.* Por ejemplo: sería un experimento sobre el canto de los pájaros el mantener algunos pájaros cantores aislados individualmente desde su nacimiento para estudiar la influencia del aprendizaje y la herencia en el canto. La mera cría de pájaros sin una intención de esa naturaleza no es un experimento, sino simplemente una experiencia con mayor o menor observación.

Vimos en la sec. 12.2 que la observación puede analizarse en tres componentes por lo menos: el objeto de observación (inserto en su entorno o medio), el observador y un canal de comunicación que transmite señales entre ambos. La medición introduce un cuarto factor, que es el dispositivo de medición. En el experimento, el objeto se ve rodeado por un *medio artificial* en mayor o menor medida, o sea, por un medio que en algunos aspectos se encuentra bajo el control –a poder ser remoto– del operador (cf. fig. 14.1). El control del experimentador se ejerce tanto sobre los estímulos que deben provocar la reacción del objeto cuanto sobre el objeto mismo. Los estímulos pueden ejercerse o aplicarse directamente, como ocurre cuando se someten organismos a descargas eléctricas, o indirectamente, como cuando se altera la humedad del ambiente. Y el control de los estímulos puede consistir simplemente en registrarlos o medirlos, o en una variación intencionada de la intensidad, como ocurre al controlar flujos de líquidos manejando un grifo o por medio de un dispositivo de control automático.

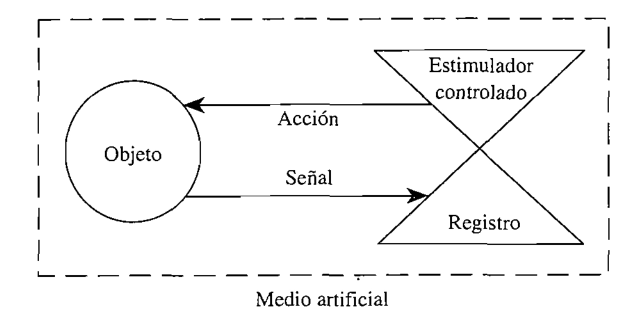


FIGURA 14.1. El experimento: estudio de la reacción de un objeto a estímulos controlados. Las más de las veces, con dispositivo de registro.

En el primer caso podemos hablar de *control pasivo,* en el segundo de *control activo.*

Si el control de factores *(inputs)* y productos *(outputs)* no se lleva a cabo con precisión cuantitativa, la operación es un experimento *cualitativo.* En un experimento *cuantitativo* los valores de ciertas magnitudes –las consideradas relevantes, con mayor o menor certeza– son objeto de medición; si la precisión de la medición es escasa, puede hablarse de experimentos *semicuantitativos.* Dicho de otro modo: cuando la presencia o ausencia de las varias variables o los factores se toman ciertamente en cuenta, pero sin medirlos, el experimento es cualitativo, aunque –como ocurre en el llamado método factorial– se planee con la ayuda de una teoría estadística. La mayoría de los experimentos meramente exploratorios que se refieren al descubrimiento de hechos nuevos o a la contrastación preliminar de nuevas teorías son experimentos cualitativos o semicuantitativos: sólo si resultan claramente favorables o muy inconcluyentes vale la pena conseguir precisión cuantitativa. Por ejemplo: los experimentos de Oersted sobre la interacción entre imanes y corrientes fueron cualitativos; Oersted no contaba más que con una hipótesis cualitativa que contrastar, a saber, la de que todas las "fuerzas" de la naturaleza están relacionadas. Ampère, que había elaborado una teoría cuantitativa para explicar el experimento de Oersted, proyectó y realizó experimentos cuantitativos sobre esos mismos hechos. El proyecto de experimentos cuantitativos es naturalmente más complejo que el de experimentos cualitativos, pero no necesariamente más sutil desde el punto de vista intelectual: el uso de los instrumentos de medición presupone que las variables de que se trata están ya objetificadas y que se han desarrollado técnicas de medición, mientras que un experimento cualitativo puede "demostrar" (o sea, objetificar o poner de manifiesto) por vez primera ciertas variables y relaciones. También en esto la originalidad puede ser más valiosa que la exactitud. Moraleja pedagógica: los experimentos cualitativos hechos con material modesto, doméstico, son más instructivos que los experimentos exactos realizados con materiales prefabricados y ya listos para obtener resultados limpios.

Sean o no cuantitativos, los experimentos suponen construcciones científicas, conceptos, hipótesis y teorías. La mayor parte de las veces suponen cierto número de fragmentos de teorías. En un experimento preparado para conseguir nueva información, las teo-

rías intervendrán antes y después de la realización, o sea, en el proyecto experimental y en la interpretación de los resultados experimentales. En ambos estadios intervienen teorías sustantivas (por ejemplo, la óptica) y teorías metodológicas (por ejemplo, la teoría de los errores de medición). Es obvio que la intervención de hipótesis y teorías es aún mayor cuando el experimento busca la contrastación de una hipótesis o de una teoría, pues en este caso el dispositivo experimental tendrá que materializar una larga cadena que empieza con hechos inobservables, como la dispersión de los electrones por los átomos, o la distracción de un flujo de pensamiento por un estímulo externo, y termina con hechos observables tales como el movimiento de una aguja indicadora o un gesto. El experimento no se lleva nunca a cabo en un vacío teorético, ya por el mero hecho de que si hacemos experimentos es por resolver problemas originados por un cuerpo de ideas. Esto es lo que dificulta tanto la divulgación de los experimentos científicos: los. hechos observables pueden presentarse a cualquier lector o espectador, pero las ideas motoras son accesibles a poca gente. En resolución: de lo que se trata en todo experimento es de un conjunto de ideas relativas a los hechos que el experimento produce o controla; esto se desprende claramente del examen de cualquier experimento científico. A título de ejemplo elegiremos unos experimentos que hicieron época: los que proyectó y realizó Lavoisier para contrastar su sospecha de que la masa no se pierde ni se gana en el curso de las reacciones químicas, pese a las apariencias que indican lo contrario.

Ya en 1630 J. Rey había hallado que el peso del estaño aumenta cuando se oxida (cf. sec. 5.5). Rey consiguió ese descubrimiento gracias a haberse formulado el problema de seguir (controlar) las variaciones de peso concomitantes a tales procesos. Y pudo plantearse el problema porque había concebido la hipótesis programática de que el peso podía ser una variable relevante para la química. Aún más: Rey no se contentó con formular la hipótesis fenomenológica "El estaño aumenta de peso por oxidación", sino que pasó a proponer una hipótesis sobre el mecanismo del proceso: supuso que el aumento de peso de la "cal" (óxido) respecto del metal correspondiente se debía a la toma de aire. Se conocieron otros varios casos además del estudiado por Rey, pero todos fueron pasados por alto como anomalías sin importancia, porque estaban en contradicción con las opiniones aceptadas, en particular con la teoría del flogístico, propuesta casi un siglo después de los experimentos de Rey. La teoría del flogístico descendía indirectamente de la hipótesis aristotélica sobre el fuego, entendido como elemento ígneo, y tenía por tanto el apoyo de la ciencia ortodoxa y de la metafísica. La teoría afirmaba que las cales, como los "minerales metálicos" (nuestros óxidos), eran todas más simples que los metales correspondientes, porque se encuentran en la naturaleza (pese a las llamativas excepciones del mercurio y el oro); esta tesis era un mero ejemplo del principio ontológico general según el cual la naturaleza es simple y el hombre es el origen de toda complejidad. Ahora bien, si las cales son más simples que los metales correspondientes, entonces había que añadir algo a las primeras para convertirlas en metales en las fundiciones: ese algo era el flogístico, el elemento productor del fuego. Siempre que se producen un metal y fuego, el proceso tiene que cumplir según esa teoría uno de los dos esquemas (leyes) siguientes:

$$\text{Metal calentado al aire} \rightarrow \text{Cal} + \text{Flogístico} \quad [14.1]$$
$$\text{Cal} + \text{Flogístico} \rightarrow \text{Metal} \quad [14.2]$$

La teoría del flogístico coordinaba de un modo simple una gran masa de datos, o sea, tenía las virtudes de simplicidad y alcance. Consiguientemente, fueron pocos los que se sintieron inquietos por la "anomalía" consistente en que había unas cuantas cales conocidas que pesaban más que los correspondientes metales, o por el hecho de que la teoría no explicara el mecanismo de la oxidación. El interés de los químicos de la época no era el contrastar y desarrollar (complicar) sus hipótesis, sino confirmar una y otra vez una teoría simple que disfrutaba del apoyo de la tradición; en última instancia, y si alguien se preocupaba por la cuestión de los pesos, siempre se podía atribuir al flogístico un peso negativo. ¿Qué más puede pedirse que un amplio alcance para una teoría?

¿Y por qué vamos a reprochar a los químicos de hace dos siglos el haber sido datistas y datoístas, cuando algunos de los más eminentes físicos teóricos de nuestra propia época se comportan exactamente del mismo modo que ellos respecto de las teorías actuales? En cualquier caso, los experimentos cuantitativos, sobre todo experimentos referentes al control del peso, no desempeñaban sino un papel muy reducido, o nulo, en aquel contexto, porque el *concepto* de peso no se presentaba siquiera en la *teoría* química dominante; y no desempeñaba ni podía desempeñar ningún papel en la teoría misma porque ésta era fenomenológica, no mecánica. La química seguiría siendo por fuerza semicuantitativa y fenomenológica mientras no entrara en contacto con la ciencia del nivel inmediatamente inferior, la física. Fue obra de Lavoisier el empezar ese proceso de penetración en la reacción química hasta alcanzar su raíz física. Lavoisier mostró que el desprecio del peso era un error, y construyó y contrastó una teoría química completamente nueva de los procesos de combustión (1772-1778). El concepto clave de esa nueva teoría era el de oxidación como combinación con oxígeno: el concepto era aún específico de la química, pero había que aclararlo con la ayuda de teorías físicas. Recordemos y examinemos brevemente los dos experimentos clásicos que sostuvieron y en parte acaso sugirieron las ideas de Lavoisier.

Experimento # 1: Oxidación del mercurio (fig. 14.2). Si se calienta una muestra de mercurio en una retorta que comunique con una cámara de aire pueden observarse los hechos siguientes. Primero: se forma en la superficie libre del mercurio un estrato de polvo rojizo *(mercurius calcinatus per se)*. Segundo: el volumen del aire encerrado en la cámara disminuye hasta un mínimo que no varía ya aunque se siga calentando el mercurio. Tercero: el polvo rojizo formado en la superficie del mercurio es más pesado que el metal con el cual se ha formado, como se averigua mediante pesadas practicadas antes y después del experimento.

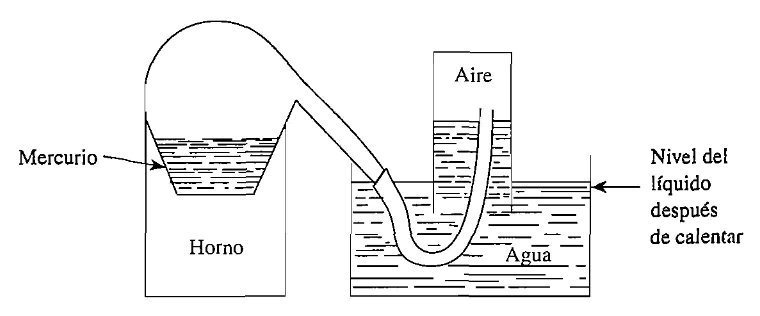


FIGURA 14.2. La oxidación del mercurio va acompañada por consumo de aire.

Experimento # 2: Descomposición del polvo rojizo (fig. 14.3). El polvo rojizo obtenido en el anterior experimento se calienta en un recipiente de vidrio herméticamente cerrado, por medio de un intenso haz de luz. Se observan los siguientes hechos. Primero: se forma poco a poco mercurio puro a partir del polvo rojo. Segundo: se desaloja parte del líquido, lo cual se interpreta como formación de gas. Tercero: si se añade este gas al residuo gaseoso del primer experimento, se obtiene una mezcla idéntica al aire común.

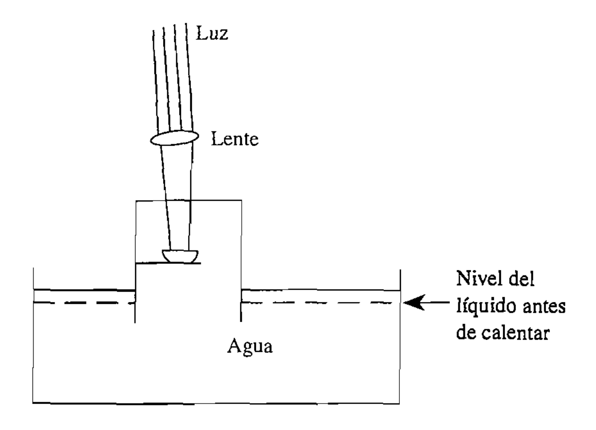


FIGURA 14.3. La descomposición del polvo rojo va acompañada por liberación de un gas.

Ésas son las descripciones de los experimentos; si Lavoisier se hubiera contentado con eso, no sería el padre de la química moderna. Observemos los siguientes rasgos de esos experimentos. Primero: uno es el recíproco o complemento del otro. Segundo: en los dos casos se construyen sistemas muy análogos. (En el experimento # 2 hay que considerar la luz como parte del sistema.) O sea, la mayoría de las variables se mantienen constantes, sobre todo el peso total, puesto que no hay transporte de material. Tercero: se controlan tres variables físicas porque se sospecha que son las relevantes: temperatura, peso del metal, volumen de gas. Cuarto: en ninguno de los casos se trata simplemente de observar comportamientos espontáneos de la naturaleza, sino que se cambia deliberadamente la temperatura. Quinto: el volumen del gas, que es imperceptible, se objetifica y controla por medio de un nivel líquido.

Lavoisier explicó los resultados de sus experimentos gemelos introduciendo las siguientes hipótesis; lo revolucionario fueron esas ideas, no la observación.

Hipótesis # 1 (sobre la combustión): La herrumbre de un metal se debe a su oxidación, esto es, a su combinación con oxígeno, que es uno de los componentes del aire atmosférico. En el proceso inverso, el de formación de un metal a partir de cal (óxido), se libera oxígeno. Los esquemas de las reacciones en las que intervienen metales calentados son, pues, los siguientes:

$$\text{Métal} + \text{Oxígeno} \xrightarrow{\text{calor}} \text{Cal (óxido)} \qquad [14.3]$$

$$\text{Cal (óxido)} \xrightarrow{\text{calor}} \text{Metal + Oxígeno} \qquad [14.4]$$

Esos esquemas deben compararse con los esquemas [14.1] y [14.2] postulados por la teoría oficial del flogístico. (Ejemplo de la primera ley general es la fórmula de reacción "$2Hg + O_2 \rightarrow 2HgO$", ejemplificada a su vez por el experimento # 1. Ejemplo del segundo esquema es la reacción inversa, ejemplificada por el experimento # 2.) Debe observarse que el concepto de oxígeno era una construcción, exactamente igual que el concepto de flogístico: de hecho, el supuesto de que existe el oxígeno e interviene en ciertos procesos químicos no fue en modo alguno "derivado de la experiencia", sino que se puso constructivamente, por lo que dio precisamente lugar a acaloradas discusiones. Desde el punto de vista epistemológico no hay diferencia entre los teóricos del flogístico y Lavoisier: unos y otro daban razón de la experiencia por medio de construcciones intelectuales. La diferencia importante es metodológica: las hipótesis de Lavoisier eran contrastables y, además, superaban las contrastaciones. Por tanto, es un error creer que lo que distingue la ciencia moderna es que evita hipótesis referentes a inobservables.

Hipótesis # 2 (*sobre conservación de la masa*): La masa total de un sistema aislado se conserva en el curso de sus transformaciones químicas. Sea A_i la masa de la i-ésima sustancia reactiva, y B_j la masa del j-ésimo producto reactivo. Entonces esta hipótesis, h_2 puede simbolizarse así:

$$A_1 + A_2 + \ldots + A_n = B_1 + B_2 + \ldots + B_n$$

He aquí un ejemplo de esa ley general: "$O_2 + 2H_2 \rightarrow 2H_2O$", cuya ecuación ponderada es: $(16 + 16)g + 2\,(1 + 1)g = 2 \cdot (2 \cdot 1 + 16)g = 36g$.

Se observará: primero, que h_1 es una hipótesis cualitativa y típicamente química, mientras que h_2 es cuantitativa y se refiere a un aspecto físico (la masa) de las reacciones químicas. Segundo: que mientras h_1 se refiere sólo a procesos de combustión, h_2 es universal para el campo de la química. Tercero: que h_1 es en alguna medida representacional: da razón del mecanismo de la oxidación; en cambio, h_2 es una hipótesis fenomenológica mientras no forme parte de una teoría atómica de las reacciones químicas.

Los anteriores experimentos no bastan para establecer la universalidad que pretende tener h_2, pues sólo se refieren a combinaciones del concreto par mercurio-oxígeno: la conservación de la masa podría ser una idiosincrasia de esa pareja. Por ello Lavoisier contrastó h_2 para muchos otros casos mediante un uso metódico de la balanza. Y una vez consideró que h_2 estaba suficientemente confirmada –según las exigencias de su época–, dio sin vacilar el salto a la conclusión general de que la conservación de la masa vale universalmente, o sea, para toda reacción química que tenga lugar en un sistema cerrado. Este audaz salto ha permitido a los químicos usar heurísticamente el principio de conservación de la masa. Así, si cambia la masa total de un sistema en el que tiene lugar una reacción química, la variación de masa se atribuye a la violación de la condición de aislamiento, o sea, se supone que el sistema ha dejado escapar una cierta cantidad de materia: se trata, pues, de una pérdida que se le ha escapado a la observación, no a la teoría. Esa hipótesis ha tenido frecuentemente como resultado el descubrimiento de sustancias

que no son directamente accesibles a los sentidos; el propio oxígeno se descubrió de ese modo, y lo mismo ocurrió con el nitrógeno.

Un filósofo podría hacer notar que, incluso después de haber contrastado el principio de conservación de la masa en un par de millones de reacciones, puede hallarse una concreta reacción que false totalmente el principio: en sustancia, la hipótesis de Lavoisier no pasa de ser una hipótesis con apoyo inductivo, esto es, una hipótesis empírica y, por tanto, no hay razón concluyente en contra de que se gane o pierda peso en el curso de las reacciones químicas. Esta objeción sería válida si la hipótesis de Lavoisier hubiera quedado en el estado de hipótesis suelta, pero ha dejado de tener importancia en el momento mismo en que la hipótesis ha sido teorizada. Efectivamente: la ley h_2 de Lavoisier puede hoy deducirse de los supuestos básicos de la teoría química atómica sobre el mecanismo de la combinación y la disociación de los átomos. Esta teorificación de h_2 le ha dado un apoyo mucho más sólido que el que podía obtener por millones de nuevas confirmaciones empíricas, porque la ha incorporado a la red de enunciados legaliformes que abrazan el conjunto de la realidad física. (Sobre la explicación de leyes, cf. secs. 9.3 y 9.5.)

Pero la misma teoría que explica la ley de Lavoisier impone una pequeña corrección cuantitativa de ella. De hecho, la masa total de una molécula es algo menor que la suma de las masas de sus átomos componentes. Esta diferencia –el defecto de masa– pasa a la energía que vincula los átomos en la molécula, y es, por tanto, de suma importancia teorética, aunque no detectable en el laboratorio químico, cuyas escalas son insuficientemente sensibles para ello. Si las masas atómicas fueran estrictamente aditivas, no habría compuestos estables: toda combinación sería efecto de un encuentro casual de átomos indiferentes, y sería, por tanto, inestable; pero el hecho es que hay fuerzas de cohesión a las que corresponden energías de cohesión.

He aquí una primera moraleja metacientífica de lo que acabamos de narrar: la masa es objetivamente no-aditiva, aunque los *valores medidos* de las masas son aditivos en el contexto de la actual tecnología de la medición. Dicho de otro modo: la masa es físicamente (objetivamente) no aditiva, aunque empíricamente aditiva. Ocurre con ella más o menos lo mismo que con los esquimales, que todos parecen iguales para la vista de un europeo sin experiencia. (En cambio, la situación con la longitud es precisamente la contraria: hoy atribuimos toda no-aditividad empírica de las mediciones de longitud a defectos de los procedimientos de medición.)

Otra conclusión: las leyes científicas no dejan nunca de ser rectificables por mucha confirmación con que cuentan. Esta es una de las razones por las cuales hay que clasificarlas entre las hipótesis. Tercera conclusión: la confirmación no es nunca definitiva, aunque no sea sino porque puede utilizar siempre técnicas o ideas nuevas, así como criterios de rigor nuevos y más exactos. Cuarta conclusión: los enunciados de leyes no deben someterse perpetuamente a contrastaciones deliberadas, sino que, una vez que parecen corroborados con razonable solidez, deben utilizarse en la explicación, la predicción y la acción, incluyendo en ella el experimento. Las correcciones, pequeñas o grandes, aparecen frecuentemente por sí mismas, ya en el curso de la aplicación de las leyes o a causa de una vinculación completamente inesperada con alguna teoría nueva, como ocurrió con el defecto de masa que arruinó la exactitud de la ley de Lavoisier por una sugestión de la teoría de la relatividad, la cual no es relevante para la química sino a través de las teorías

físicas subyacentes a las químicas. Contemplemos ahora de cerca la clave del experimento: el control.

Problemas

14.1.1. Dilucidar los conceptos de experiencia y experimento. *Problema en lugar de ése*: Comentar el libro clásico de C. Bernard, *Introducción al estudio de la medicina experimental*, 1865, donde discute las diferencias entre observación y experimento.

14.1.2. Imaginar que se tiene que explicar a Aristóteles algún experimento moderno. No olvidar que hay que formular el problema, las hipótesis y la interpretación del resultado.

14.1.3. Escribir completamente la ecuación del equilibrio de las masas (ley h_2 de Lavoisier), o sea, añadir a la formulación vista las cláusulas de que el sistema tiene que estar aislado, tiene que componerse de dos o más sustancias reactivas, etc. Y observar si la fórmula completa refiere a alguno de los experimentos posibles que pueden contrastar la ecuación, o bien si refiere a un esquema real o estructura objetiva.

14.1.4. ¿Habría realizado Lavoisier los experimentos descritos en el texto si no hubiera tenido, como suele decirse, donde agarrarse? Discutir en general la frase defensiva "No tengo donde agarrarme." ¿Refleja esa frase objetividad científica, imparcialidad científica, pobreza de ideas o miedo a las ideas? *Problema en lugar de ése*: Estudiar el papel de guía que han tenido las hipótesis en las investigaciones experimentales de Lavoisier y Priestley sobre el "aire desflogisticado" (oxígeno), y compararlo con la filosofía de la ciencia que esos científicos profesaron explícitamente.

14.1.5. La creencia popular –compartida por Aristóteles– de que las plantas comen tierra fue sometida a contrastación por J. B. van Helmont en el siglo XVII. Pesando la cantidad de tierra consumida por una planta, halló que el aumento de peso de ésta era mucho mayor que la pérdida de peso del suelo. Para realizar ese experimento plantó y cultivó plantas en macetas, las regó y expuso al sol, y utilizó una escala comercial. Indicar con precisión las hipótesis que entraban en conflicto en esta cuestión, las variables controladas y las que no lo fueron. Y discutir si valdría la pena añadir al dispositivo experimental una maceta con tierra, pero sin planta, como control, o si no la vale, porque el individuo experimental puede ser su propio control. Especular, si es posible, acerca de las razones que pueden haber retrasado durante tantos siglos ese sencillo experimento.

14.1.6. Los sociólogos dicen frecuentemente que la investigación sociológica basada en registros o cuestionarios acerca de hechos pasados no es meramente empírica, sino experimental: llaman a esas observaciones experimentos *ex post facto*. En este sentido, serían también objeto de la ciencia experimental la génesis de las montañas y la extinción de las especies biológicas, el nacimiento del estado moderno y otros procesos que han dejado huellas registradas por nosotros. Cf. E. Greenwood, *Experimental Sociology*, Nueva York, King's Crown Press, 1948. Hacer un examen crítico de la citada expresión 'experimento *ex post facto*'.

14.1.7. Hacer un análisis detallado de un experimento científico. Fuentes que se sugieren: libros de texto de cualquier ciencia experimental y J. B. Conant (ed.), *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1957, 2 vols., así como M. L. Gabriel y S. Fogel, *Great Experiments in Biology*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1955.

14.1.8. ¿Es posible realizar experimentos en geología, en biología evolutiva, en arqueología y en sociología? Indicación: Antes de dar una respuesta negativa tajante, familiarizarse con algo del trabajo reciente realizado en esos campos.

14.1.9. Analizar alguno de los experimentos siguientes: (*i*) La expedición del *Kon Tiki*, diri-

gida por T. Heyerdahl en 1947 y proyectada para contrastar la hipótesis de que era físicamente posible una migración del Perú a la Polinesia (especialmente a las Islas de la Pascua); (*ii*) la travesía de los Alpes con elefantes, bajo la dirección de J. M. Boyte (1909), para contrastar la narración del cruce de los Alpes por Aníbal con dichos animales. ¿Qué probaron esos experimentos –si es que probaron algo–? ¿Pueden considerarse como experimentos propios de la historia? En general: ¿es posible el experimento histórico?

14.1.10. Examinar la posibilidad de la construcción de una estética experimental interesada por (*i*) la valoración estética (tal vez bajo forma de estimación de utilidades subjetivas) y (*ii*) la psicología de la experiencia estética. Cf. D. Berlyne (comp.), *Studies in the New Experimental Aesthetics*, Nueva York, Wiley, 1974.

14.2. CONTROL

Es conveniente distinguir entre el *planteamiento* experimental, por un lado, y, por otro, el *método* experimental y las *técnicas* experimentales, o sea, los procedimientos especiales usados para dar cumplimiento al método experimental. Los artesanos y los científicos adoptan un planteamiento experimental para ciertos problemas, en el sentido de que intentan resolverlos por el procedimiento de modificar deliberadamente ciertas condiciones objetivas y de someter a prueba sus supuestos y procedimientos, rectificándolos si es necesario a la luz de nueva experiencia y nuevas ideas. Tanto en el artesano cuanto en el científico, el planteamiento experimental se caracteriza por un control efectivo y autocorrector de las cosas y de las ideas sobre ellas. Pero los problemas del científico –y, por tanto, también sus fines y sus medios específicos– discrepan de los del artesano; los problemas del hacer, como reparar una máquina, mientras que el científico trata generalmente problemas de conocimiento, por ejemplo, descubrir los "principios" de una máquina, las leyes según las cuales ha sido proyectada. Mientras que el artesano y el técnico toman elementos de conocimiento para actuar, el científico actúa para conocer: donde los primeros aplican reglas que están mejor o peor fundamentadas, el último aplica o contrasta hipótesis (cf. cap. 11).

En el sentido estricto de la palabra, el método experimental consiste en someter un sistema material a ciertos estímulos, y en observar su reacción a éstos para resolver algún problema sobre la relación estímulo-respuesta; el problema puede consistir en la contrastación de una determinada hipótesis sobre esa relación, o en concebirla sobre la base de los datos factor-producto de la relación. En principio, el método experimental puede aplicarse en cualquier campo de la ciencia factual que estudie el presente. Pero la aplicación efectiva del método experimental dependerá en cada caso de las peculiaridades del problema: una cosa es estudiar los efectos de los rayos gamma sobre el crecimiento de las plantas y otra muy diferente estudiar el mecanismo causante de esos efectos; problemas diferentes exigen métodos experimentales especiales, o técnicas experimentales peculiares. Por eso el empleo del método experimental requiere la invención de toda una variedad de técnicas experimentales, tantas cuantas son las clases de problemas experimentales.

No se trata de que las técnicas experimentales especiales sean peculiares de las *disciplinas:* lo son de los *problemas* experimentales. Así, por ejemplo, el historiador puede

usar técnicas físicas para conseguir datos históricos o para contrastar hipótesis históricas; puede utilizar la técnica de fechado por el carbono radiactivo con objeto de averiguar la edad de un objeto, o el análisis por rayos X para descubrir la anterior historia de un palimsesto o de una pintura. Como una evidencia es una información empírica acerca de un sistema físico, las técnicas físicas son susceptibles de utilización en toda disciplina factual, independientemente de la naturaleza de los *referentes* de la hipótesis de que se trate. (Sobre la distinción referencia-evidencia, cf. sec. 8.4.) Decir que las ciencias del hombre no pueden aprovechar las técnicas físicas porque no estudian sistemas puramente físicos es confundir las referencias con las evidencias. Sean o no sean los estados mentales meros estados del cerebro, toda pieza de evidencia científicamente utilizable en favor o en contra de cualquier hipótesis sobre acaecimientos mentales tendrá que ser de naturaleza física, y, por tanto, tendrá que controlarse por medios físicos. De no ser así, el método experimental no sería aplicable, como lo es, a la investigación de los estados mentales. En resolución: por espiritualista que sea en cuanto a sus referentes, la psicología de las funciones superiores tiene que ser metodológicamente conductista, si es que quiere ser científica.

Por diversas que sean en el detalle, las técnicas experimentales consisten siempre en procedimientos para la manipulación y observación –en resumen: el *control*– de las variables que, por alguna razón, se consideran relevantes para un determinado estudio. Hay que controlar a la vez las condiciones de *producción* de lcs hechos estudiados y las condiciones de la *observación*. Este último control es particularmente necesario si el proceso de observación perturba el objeto, pero en general hace falta siempre, porque lo que observamos son fenómenos, no hechos completamente objetivos e independientes de nuestros modos de observación. Por todo eso la invención de técnicas experimentales presupone la presencia de hipótesis sobre los factores o variables que pueden intervenir en una situación dada: tanto las variables que caracterizan los hechos mismos cuanto las que caracterizan el modo de observación seguido por el operador (por ejemplo, las coordenadas o los colorantes que use). Mientras no se cuente con esa lista de sospechosos, es imposible tomar medidas para controlarlos. Dentro del conjunto de todas las variables suspectas, las deliberadamente variadas por el experimentador se llaman variables *independientes*, y aquellas cuyos valores cambian como consecuencia de las variaciones de las primeras se llaman variables *dependientes*. (Aquí se supone la noción pragmática de dependencia, cf. sec. 6.1.)

Ahora bien: para establecer las diferencias introducidas mediante cambios de los valores de las variables independientes hace falta algún testigo o sistema de control, un sistema en el cual no se introduzcan esos cambios deliberados. En concreto, el testigo o *sistema de control* –y no la técnica misma de control, la cual es un procedimiento, no una cosa– puede ser el sistema mismo cuando no se encuentra sometido a la influencia de la que se supone que es causa de la variación productora del *sistema experimental* (cf. fig. 14.4). Por ejemplo: para investigar el efecto de la irradiación de una porción de materia (una botella de polystireno o un tejido vivo) mediante neutrones se miden ciertas variables antes y después de la irradiación, de tal modo que los estados pretéritos del sistema desempeñan el papel de control. Esta técnica puede usarse cuando el sistema no cambia apreciablemente antes de que empiece el experimento. Si no es así, hay que usar otra

técnica diferente: hay que establecer dos sistemas separados y disponer de ellos simultáneamente; son el sistema experimental y el sistema de control (o neutral). Y si hay variaciones individuales apreciables, como ocurre en las ciencias no-físicas y en la tecnología, entonces hay que escoger colecciones de sistemas semejantes, no ya individuos; o sea, hay que formar un *grupo* experimental y un *grupo* de control (o neutral), de tal modo que la única diferencia apreciable entre ellos se deba a los estímulos situados bajo control del experimentador y activos sobre el grupo experimental, no sobre el de control (fig. 14.4).

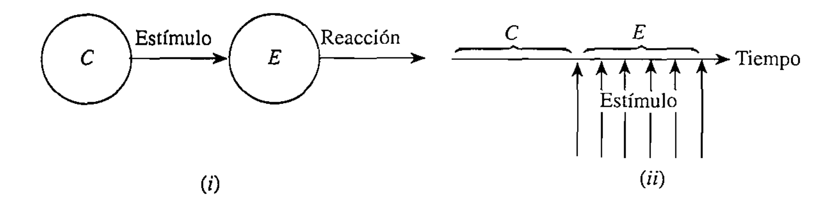


FIGURA 14.4. En (*i*) se observan simultáneamente dos sistemas análogos: el sistema de control *C* y el sistema experimental *E*, en (*ii*) el sistema antes de la aplicación del estímulo sirve como control de sus propios estados futuros.

Supongamos que deseamos averiguar si, y –caso afirmativo– en qué medida, una determinada pintura evita la oxidación del hierro. Tomamos dos trozos iguales de hierro o, por mejor decir, dos trozos de hierro perceptiblemente iguales, y aplicamos a uno de ellos (*E*) una capa de la pintura, dejando el otro (*C*) sin pintar. Los dos grupos se someten luego a las mismas condiciones de ambiente, y precisamente a aquellas que normalmente producirían la oxidación del hierro no protegido (salvo que el objetivo de la operación sea estafar a alguien, en cuyo caso se elegirán las condiciones más benignas). A continuación se observan las diferencias, si las hay, entre el grupo experimental y el grupo de control. Por último, basándonos en esta observación inferimos alguna "conclusión" sobre la efectividad de la pintura. Si el experimento ha sido cualitativo, la conclusión será cualitativa –por ejemplo, del tipo "La aplicación de nuestra pintura reduce sustancialmente la oxidación". Los experimentos en los cuales se varían a la vez uno o más factores (variables) y en los que las diferencias se registran cualitativamente –o sea, en los que se registra la presencia o ausencia del efecto, pero no su cantidad– se llaman experimentos factoriales, o experimentos de *proyecto factorial.* La mayoría de los experimentos que suponen la medición de valores implican también la variación de un factor (la variable independiente) en algún momento; el plan según el cual se desarrollan se llama *proyecto funcional.* Sólo de los experimentos funcionales pueden obtenerse "conclusiones" cuantitativas; no puede haber respuestas cuantitativas a cuestiones que no lo sean.

Por de pronto, los grupos de control y experimental tienen que ser *homogéneos*, o sea, aproximadamente iguales en todos los factores relevantes. Esa homogeneidad es tanto más difícil de obtener cuanto más complejos son los sistemas y cuanto más exacto es nuestro planteamiento, pero en cualquier caso hay que obtener una homogeneidad aproxi-

mada si es que los resultados han de ser significativos, o sea, debidos al experimento y no a la elección de los individuos experimentales. Hay diversas técnicas en uso para controlar los valores iniciales de las variables relevantes y para obtener así una homogeneidad aproximada de los grupos. Hay dos clases de técnicas para la formación de éstos: individuales y colectivas. El *control individual* se consigue mediante el apareamiento simultáneo de individuos de los dos grupos: cada miembro del grupo de control se coordina con un miembro, aproximadamente equivalente, del grupo experimental. Por ejemplo: se introduce en el grupo experimental, para cada muchacha de veinte años de un determinado colegio, otra de la misma edad. Esta coordinación simultánea es difícil y costosa cuando el grupo es de grandes dimensiones, en cuyo caso se apela al control estadístico (cf. fig. 14.5). Hay dos clases principales de control estadístico: control de distribuciones y obtención de una muestra al azar. El *control de distribuciones* se practica cuando se puede poner en ecuación ciertos parámetros estadísticos, como los promedios, las dispersiones

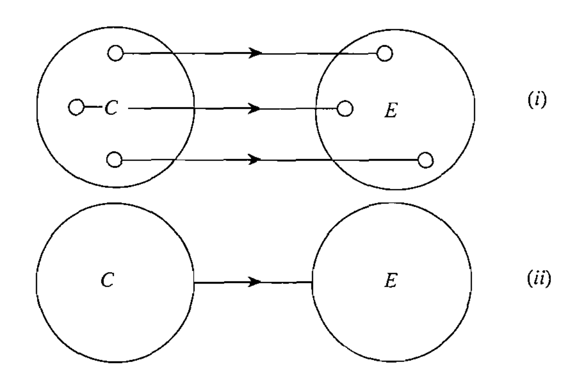


FIGURA 14.5. Control individual: cada miembro de E corresponde a un miembro de C (*i*). Control estadístico: E y C se corresponden colectivamente, como todos enteros (*ii*).

(desviaciones estándar) y acaso otras pocas propiedades colectivas (por ejemplo, medianas y modos). O sea: en estos casos se pasan por alto las composiciones individuales de C y E y no se controlan más que algunas de sus propiedades estadísticas. Por ejemplo: para estudiar la influencia de la televisión en el rendimiento escolar se toman dos muestras de niños de la misma edad promedio y el mismo promedio de niveles de escolaridad, así como con las mismas desviaciones medias respecto de esos promedios.

La coordinación simultánea y el control de distribuciones tienen sus ventajas y sus inconvenientes característicos, pero arrojan una deficiencia común: en ambos grupos es relativamente fácil proceder inadvertidamente a la formación de los grupos C y E con alguna tendenciosidad. Por ejemplo: es posible que, sin quererlo, acabemos formando el grupo E con los individuos más fuertes o más feos, por temer que el tratamiento experimental duro afecte perjudicialmente a los más débiles o más guapos. Esta posibilidad, siempre presente, se elimina si los dos grupos se forman *al azar.* Podemos, por ejemplo, lanzar una moneda a cara o cruz para cada par de individuos, dejando así al azar la decisión acerca de a qué grupo irá cada uno de ellos. También pueden arbitrarse otros mecanismos casuales, como, por ejemplo, la numeración de los individuos y su distribución luego entre los dos grupos de acuerdo con una tabla de números al azar. Por otra parte, y

aunque parezca raro, puede conseguirse el mismo efecto casual mediante una disposición cuidadosa de los sujetos. Un expediente de este tipo es el artificio llamado *cuadrado latino.* Supongamos que hay que determinar el rendimiento de tres variedades de plantas, A, B y C. Para conseguir que la fertilidad del suelo, la insolación, el efecto de los vientos, la humedad, etc., tengan efectos al azar, podemos utilizar la siguiente ordenación de las plantas en el suelo:

A	B	C
B	C	A
C	A	B

De este modo las tres variedades reciben las mismas oportunidades, que es lo característico de un proyecto no tendencioso de experimentación. Por medio de esas técnicas todas las variables (en su mayor parte desconocidas) que no caen bajo control se distribuyen al azar, de tal modo que las diferencias de rendimiento entre el grupo *C* y el grupo *E* pueden atribuirse con confianza a las variaciones de las variables independientes y a nada más. (Por otra parte, puede aplicarse la teoría de la probabilidad al control de las inferencias practicadas a partir de los resultados del experimento.) Si la situación no es ésa, siempre podremos sospechar que las diferencias de rendimiento se deben a una casual acumulación de individuos privilegiados en uno de los grupos. Esta *hipótesis del cero* no puede refutarse más que construyendo los grupos al azar. La técnica de *casualización* (R. A. Fisher), al minimizar la posibilidad de una selección tendenciosa, nos suministra un procedimiento de homogeneización que contribuye en gran medida a la objetividad y consistencia de las contrastaciones, propiedades particularmente necesarias en las ciencias del hombre. Pero, de todos modos, esa técnica no debe entenderse como incompatible con la coordinación simultánea, sino que puede usarse junto con ella: en este caso, la coordinación individual se aplicará a las variables observables que se tomen explícitamente en cuenta, mientras que la obtención de muestras al azar se referirá a las variables que no se tomen explícitamente en cuenta, pero que puedan dar lugar a alguna diferencia. Así se consigue el grupo de control más completo: un grupo que es individual en algunos aspectos y estadístico en todos los demás.

Una vez formados el grupo *C* y el grupo *E* puede empezar el experimento: pueden aplicarse a *E* los estímulos y estimarse, cuantitativamente o no, los rendimientos de *E* en relación con el comportamiento de *C*. Las diferencias de rendimiento pueden ser significativas o no serlo: es la estadística la que debe decidir al respecto. Por último se "inferirán" algunas "conclusiones" a partir del resultado del experimento, algunas conjeturas propuestas provisionalmente con base en las diferencias significativas entre *C* y *E*; esas diferencias se controlan por medio de la estadística, la ciencia que controla el salto de los datos a las "conclusiones" de nivel bajo.

Por tanto, un experimento contiene las operaciones siguientes:

1. *Elección del problema.*
2. *Identificación de las variables* que se suponen relevantes y, por tanto, necesitadas de control.
3. *Proyecto* o plan del experimento.
4. *Formación de grupos C y E homogéneos.*
5. *Aplicación del estímulo a E.*
6. *Observación y/o medición* de los rendimientos de *C* y *E.*
7. *Juicio sobre la significación* de las diferencias de comportamiento entre *C* y *E.*
8. *Inferencia* sobre la(s) relación(es) entre las variables independientes y dependientes.
9. *Control de la anterior inferencia* por la teoría relevante, cuando se disponga de ésta.

Los estadios 3 y 6-9 nos ocuparán más tarde. Digamos ahora algo sobre la aplicación del estímulo, la operación 5. Este estímulo puede ser "positivo" –o sea, un agente externo que obre sobre el grupo experimental– o "negativo" –o sea, la eliminación de algún elemento que normalmente ocurra y esté presente en el grupo de control. Este último tipo de estimulación es muy frecuente en el caso de las ciencias no-físicas, especialmente cuando se estudia la función de una sustancia, un órgano o una institución. Así, por ejemplo, si se está estudiando la función de la corteza cerebral, el experimentador puede, por ejemplo, enseñar a un grupo de ratones alguna tarea, como la discriminación de formas visuales, y luego extirpar la totalidad o parte de la corteza cerebral de los animales constitutivos del grupo experimental, y comparar su rendimiento con el del normal grupo de control, que pueden ser los mismos ratones antes de la extirpación. Si la extirpación de la corteza no altera sustancialmente la capacidad de aprendizaje, se "infiere" que aquélla no es esencial para el aprendizaje mismo, al menos, para el de la clase utilizada.

En algunos casos no es posible aplicar los estímulos a sistemas reales, ya a causa de limitaciones técnicas, ya por frenos morales. En esos casos pueden practicarse experimentos con *modelos.* Así, por ejemplo, los ingenieros construirán modelos de diques a pequeña escala, o de redes ferroviarias, de aviones, etc., y someterán esos modelos a estímulos de la clase que interesa, para extrapolar luego los resultados al sistema original; análogamente, el farmacólogo usará ratas o cerdos como modelos hombre. Cuando ni siquiera pueden conseguirse esos modelos concretos, se imagina un modelo conceptual que imite algunos rasgos del sistema real y se practican (mentalmente) en él algunos cambios para estimar las reacciones correspondientes con la ayuda de alguna teoría. Se llama *modelado* a esta proyección de modelos conceptuales, y *simulación* al sometimiento del modelo a cambios imaginarios. El par modelado-simulación se llama *experimento mental.*

Los experimentos mentales son cada vez más frecuentes en tecnología. Por ejemplo: las cualidades acústicas de un auditorium (o la fidelidad de un sistema de transmisión de ondas) puede estudiarse modelándolo primero en papel y simulando luego el sistema y su comportamiento en una calculadora, y siempre con la ayuda de la teoría. También puede modelarse el comportamiento probable de una comunidad humana ante un desastre, y simularse en una calculadora sobre una base probabilitaria sugerida por algún previo estudio estadístico de la correspondiente comunidad real y por ciertas generalizaciones empíricas sobre el comportamiento humano en tales circunstancias.

El experimento mental, y particularmente la modelación y la simulación en calculadoras, está ocupando el lugar de mucho experimento efectivo en la ciencia aplicada, en la medida en que se dispone de enunciados de leyes verosímiles. Y no podría ser de otro modo, pues la calculadora no recibe más que los datos y la relación *input-output*, y su única tarea es averiguar el *output:* la calculadora permite que la simulación sea factible, rápida y económica, pero ningún simulatum puede sustituir a la realidad. Consiguientemente, el experimento mental puede sustituir al real cuando no se intenta *contrastar* teorías, sino *aplicarlas*: el experimento mental es admirablemente adecuado para poner a prueba sistemas concretos (cosas o seres humanos) a base de ideas que haya superado ya la contrastación por experimentos reales. Por eso tiene un futuro sin duda brillante en la ciencia aplicada (tecnología) y no tiene futuro alguno en la ciencia pura, puesto que ni produce teoría ni la somete válidamente a contrastación.

Ahora que estamos en claro acerca del papel central del control efectivo en el experimento podemos echar un vistazo al planeamiento del mismo.

Problemas

14.2.1. Establecer una comparación entre el esquema de procedimiento de un fontanero llamado para reparar una avería y el esquema de comportamiento de un científico que ha imaginado un experimento y se dispone a llevarlo a cabo.

14.2.2. Analizar el experimento por el cual se "demuestra" (se muestra) que las plantas emiten vapor de agua. Se dejan durante una noche en las mismas condiciones dos macetas, una con planta y otra sin planta, encerradas en un recipiente de vidrio estanco. A la mañana siguiente se observa humedad en el tabique del recipiente que contiene la planta. *Problema en lugar de ése*: Si los estados mentales fueran irreductiblemente privados, o sea, no objetificables, el estudio de la inteligencia y de la mente en general no podría plantearse desde fuera, sino sólo desde dentro (por introspección) y, por tanto, jamás podría practicarse experimentación propiamente dicha en psicología. ¿Es efectivamente ésa la situación? Si no lo es, ¿qué justificación tiene la filosofía mentalista?

14.2.3. Comentar alguno de los siguientes casos de control incompleto. (*i*) R. Boyle no controló la temperatura en sus experimentos sobre la expansión de los casos, simplemente porque no se le ocurrió que la temperatura pudiera ser una variable relevante en ellos. (*ii*) L. Thomas descubrió por casualidad que inyectando papaína a conejos se quedaban éstos con las orejas caídas. Hizo numerosas observaciones para averiguar la causa del hecho, pero no halló nada hasta que, bastantes años más tarde, comparó cortes de orejas normales y caídas: la comparación mostró un cambio en la matriz del cartílago, antes considerado como tejido inactivo. Cf. B. Barber y R. C. Fox, "The Case of the Floppy-Eared Rabbits: An Instance of Serenditipy Gained and Serenditipy Lost", en B. Barber y W. Hirsch (comps.), *The Sociology of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962.

14.2.4. Antes de que se adoptaran en Estados Unidos las vacunas Salk y Sabin contra la poliomielitis se ensayaron a amplia escala nacional. Se eligieron dos grandes grupos de niños, del orden de un millón cada uno: se administró la vacuna a los niños de un grupo, y a los otros se les inyectó agua destilada. Ni los niños ni sus padres supieron qué era lo que se les administraba. ¿Por qué se tomó esa precaución?

14.2.5. En medicina experimental se administra frecuentemente placebos (píldoras sin contenido farmacológico, o agua destilada) a los individuos del grupo de control, con objeto de igualar

los dos grupos respecto del condicionamiento de los pacientes por sugestión. Consiguientemente, se actúa sobre los dos grupos de pacientes, el sujeto a tratamiento (*E*) y el neutral (*C*): en cierto sentido, los dos son, pues, grupos experimentales. Discutir este efecto del placebo e intentar una nueva definición del concepto "grupo de control" que recoja los casos de utilización de placebos. Indicación: pensar a base del concepto de estímulos relativos (o diferenciales), o de agentes experimentales, no a base de cambios absolutos de las variables manipulables.

14.2.6. Las pruebas clínicas arrojan algunos "positivos falsos" y "negativos falsos". ¿Cómo se sabe? y ¿Cuál es la consecuencia de esto para la epistemología?

14.2.7. Imagínese un experimento para poner a prueba la hipótesis freudiana de que la conducta agresiva es instintiva. Véase V. H. Denenberg y M. X. Zarrow, "Rat pax", *Psychology Today*, *3*, núm. 12, 1970.

14.2.8. Se dice a menudo que no habría ciencia alguna si los experimentos no fueran indefinidamente repetibles o si dieran cada vez un conjunto diferente de resultados. Si eso fuera verdad, la física presupondría que el universo es espacial y temporalmente uniforme, o sea, que no cambia ni respecto del lugar ni respecto del tiempo, como dice la teoría cosmológica del estado constante; cf. H. Bondi, *Cosmology*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1960, pp. 11-12. ¿Es verdadera aquella inicial suposición, o sea, presupone efectivamente la ciencia la repetibilidad indefinida de particulares condiciones?

14.2.9. Estudiar la naturaleza y la función del experimento mental –como, por ejemplo, el caso del microscopio de rayos gamma, de Heisenberg– en la investigación pura. Cf. K. R. Popper, *The Logic of Scientific Research*, 1935; edición inglesa, Londres, Hutchinson, 1959, apéndice IX, en el cual se mencionan las siguientes funciones del experimento mental: (*i*) función crítica, para la refutación de hipótesis; (*ii*) función heurística, para ayudar a concebir hipótesis, y (*iii*) función apologética, para defender teorías contra su crítica.

14.2.10. Estudiar la naturaleza y la función del modelado y la simulación en la investigación. ¿Es posible que la simulación remplace al experimento?

14.3. PROYECTO

La planificación o el proyecto de un experimento depende del problema experimental que se espera resuelva. Dicho de otro modo: el diseño de experimentos depende de la cuestión planteada y del contexto de la cuestión, esto es, del trasfondo teórico disponible, de las técnicas con que se cuenta, de la clase de datos que se espera y de la exactitud requerida. Una cosa es dar respuesta, en ausencia de teoría, a la cuestión de si dos variables psicológicas están efectivamente correlatadas –o sea, contrastar una hipótesis programática de la forma "*x* e *y* son covariantes"–, y otra muy distinta contrastar con exactitud del 5% una precisa ley numérica de la psicología matemática. Los proyectos experimentales tienen que cortarse a medida, a tenor de las cuestiones experimentales, y éstas se formulan dentro de un marco determinado de conocimiento.

Ahora bien: puesto que el experimentar se reduce a controlar variables, los problemas experimentales pueden clasificarse –desde un punto de vista metodológico– según la clase de control que conllevan. La clase de control reflejará a su vez no sólo el rigor al que se aspira, sino también ciertas propiedades objetivas de las variables experimentalmente manipulables. Las variables que experimentan amplias fluctuaciones estadísticas

–como la fertilidad del suelo y la inteligencia– requerirán un control estadístico, mientras que si esas fluctuaciones quedan dentro de límites estrechos –como en el caso de las distancias y las duraciones– será posible un control preciso de las variables.

En todo trabajo experimental se utilizarán técnicas estadísticas en el curso de la *estimación* de los resultados experimentales, en particular cuando llega el momento de estimar el valor medio y la dispersión media en torno suyo. Cuando todas las variables relevantes se controlan precisa e individualmente, la estadística no aparece hasta el estadio final, rara vez en la proyección del experimento. Pero cuando el control de las variables es él mismo estadístico, como frecuentemente ocurre en el caso de la ciencia del comportamiento y en la investigación aplicada –por ejemplo: en ingeniería y en agronomía–, las técnicas estadísticas se usan en la estimación del experimento y en su planeamiento. Por eso es razonable distinguir entre dos grandes clases de proyección de experimentos y, consiguientemente, de contrastaciones experimentales: experimentos *estadísticos* y experimentos *no-estadísticos*. Presentaremos a continuación seis casos, los tres primeros de los cuales son no-estadísticos, mientras que los últimos son de proyecto estadístico.

Experimento # 1: Producción de aminoácidos bajo posibles condiciones primitivas de la Tierra: S. Miller, *Science, 117*, 528, 1953. *Problema*: ¿Pudo emerger espontáneamente la vida a partir de la materia inerte? *Hipótesis* a contrastar: los compuestos orgánicos que constituyen los sillares de los organismos se formaron espontáneamente en una época en la cual la atmósfera terrestre se componía de metano, amoníaco, vapor de agua e hidrógeno; y la síntesis de los compuestos orgánicos fue activada por descargas eléctricas y radiación ultravioleta. Procedimiento de *contrastación*: Se construyó un modelo a pequeña escala de la hipotética atmósfera primitiva y se trabajó sobre él (cf. fig. 14.6). Se trató el contenido con un germicida para excluir la posibilidad de que algunos microorganismos produjeran los compuestos orgánicos. Al cabo de una semana el agua se había vuelto turbia y rojiza. Las pruebas de identificación mostraron que se habían formado tres aminoácidos diferentes, entre ellos la alpha-alanina, CH_3-CH-NH_2-COOH.

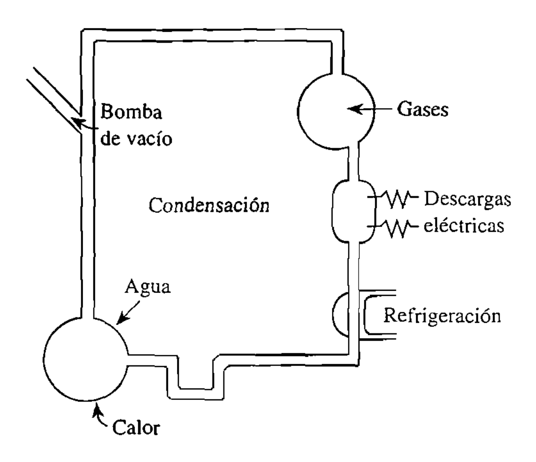


FIGURA 14.6. Modelo de atmósfera primitiva. La cámara de gases contenía CH_4, NH_8 y H_2.

Experimento # 2: Tratamiento de las neurosis por inhibición recíproca: J. Wolpe, *British Journal of Psichology, 43*, 243, 1952. *Problema*: ¿Está condicionada la neurosis? *Primera hipótesis*: La neurosis puede inducirse experimentalmente. Procedimiento de *contrastación:* Se eligen unos gatos y se les condiciona para que busquen píldoras de alimento al sonido de un zumbador. Una vez que han aprendido ese comportamiento, reciben descargas eléctricas cada vez que se dirigen a coger el alimento. Como consecuencia, presentan un comportamiento cada vez más neurótico, principalmente ansiedad y negativa a comer. *Segunda hipótesis*: La alimentación puede inhibir esas reacciones neuróticas, igual que éstas habían inhibido la alimentación (inhibición recíproca). Procedimiento de *contrastación:* Se da ahora alimento a esos mismos gatos en ausencia de estímulos suscitadores de ansiedad, y luego en presencia de pequeñas, pero crecientes, dosis de tales estímulos: al cabo de unas cuantas sesiones no quedan restos de neurosis. *Comprobación*: Para asegurarse de que las reacciones neuróticas se han eliminado y no se encuentran ocultas, en estado de adormecimiento ("reprimidas"), se elimina experimentalmente la respuesta (buscar comida) al zumbador. Una vez que los gatos han olvidado aquella asociación, empieza la última parte, recién descrita, del experimento: se les ofrece comida mientras se les estimula auditivamente. Resultado: no se observó ninguna inhibición respecto del alimento. Los gatos estaban curados.

Experimento # 3: *Influencias del grupo en la formación de normas y actitudes:* M. Sheriff, *Sociology, I*, 90, 1937. *Problema*: ¿Está la percepción influida por la opinión dominante? *Hipótesis*: Si la opinión tiene alguna influencia en la percepción, será tanto más fuerte –y, por tanto, más fácil de detectar– cuanto menos tajantes y espontáneos sean los juicios de percepción. Procedimiento de *contrastación:* El sujeto se coloca en una situación inestable, aislado primero, y luego en un grupo; luego se invierte el orden y se registran las diferencias de comportamiento. Situación inestable adecuada es aquella en la cual el sujeto se coloca en una habitación oscura sin más que una fuente de luz pequeña, puntual. El sujeto no tiene marco de referencia fijo y sufre la ilusión de que la mancha de luz se mueve, siendo así que está quieta. La descripción que da del movimiento está intensamente influida por las opiniones expresadas por otros sujetos del mismo grupo, algunos de los cuales están de acuerdo con el experimentador. La convergencia de opinión es mayor cuando el sujeto empieza el experimento en una situación de grupo y sin tener la posibilidad de formarse una norma individual.

Describamos ahora tres experimentos en los proyectos de los cuales la estadística desempeña un papel central, hasta el punto de considerárseles *contrastaciones estadísticas.*

Experimento # 4: *Base genética de la capacidad de aprendizaje*: R. C. Tryon, en F. A. Moss (ed.), *Comparative Psychology*, Nueva York, Prentice Hall, 1942. *Problema*: ¿Es innata o adquirida la capacidad de aprendizaje? *Hipótesis*: Si la capacidad de aprendizaje es innata, puede aumentarse mediante selección artificial. Procedimiento de *contrastación*: *Se* selecciona un grupo de ratones biológicamente uniformes y se les entrena en el aprendizaje de laberintos. Sobre la base de sus rendimientos, los ratones se dividen en dos grupos: los que aprenden deprisa y los que aprenden despacio. Luego se aparean los individuos del mismo grupo y su descendencia se somete al mismo tratamiento: los rápidos se aparean con rápidos y los lentos con lentos. Al cabo de ocho generaciones se obtienen dos líneas de descendencia que presentan una diferencia significativa en cuanto

a la capacidad de aprendizaje en laberintos. Inferencia: la capacidad de aprendizaje es hereditaria. (Sin embargo, véase abajo.)

Experimento # 5: *Dependencia del rendimiento respecto de la motivación:* H. J. Eysenck, *Scientific American*, 208, núm. 5, 1963. *Problema*: ¿Es la motivación relevante para el rendimiento?, y, de serlo, ¿cómo? *Hipótesis*: Cuanto mayor sea la expectativa de premio, tanto mejor el rendimiento. Procedimiento de *contrastación*: Se toman dos grupos de aspirantes a un trabajo muy bien pagado, grupos construidos al azar, y se les propone una tarea de rendimiento, la cual pueda medirse cuantitativamente. El sujeto tiene que intentar clavar un punzón en un pequeño blanco fijado a una placa giratoria de revolución rápida. Un motor eléctrico mide la velocidad de la placa. Se dice al grupo de control que el resultado de la contrastación no tendrá peso alguno sobre su situación profesional, y al grupo experimental se le convence de que el resultado influirá en la decisión sobre su empleo. En este caso el estímulo es una idea. Resultado: Al cabo de un rato, el rendimiento del grupo estimulado intensamente es significativamente superior al del grupo escasamente estimulado. Como todas las demás variables relevantes (habilidad innata, experiencia, etc.) han sido distribuidas al azar, la única variable independiente es la motivación y la sola variable dependiente el rendimiento. Además, la relación entre ambas se convierte en un medio para medir la intensidad de la motivación.

Experimento # 6: *Videncia*: G. P. Price, *Science*, *122*, 359, 1955. *Problema*: ¿Es verdadera la hipótesis de la videncia? *Hipótesis*: Si la videncia es una capacidad real, se manifestará a pesar de todas las precauciones que se tomen para evitar la ilusión y el fraude. Procedimiento de *contrastación*: Se barajan muchas veces automáticamente varias barajas (es muy difícil imitar la casualidad perfecta partiendo de un orden). Se colocan las cartas en recipientes metálicos que se cierran por soldadura; se microfotografían las soldaduras. Luego se presentan los recipientes al vidente, el cual debe decir lo que va dentro, sin abrirlos, naturalmente. Se graban sus declaraciones en cinta magnetofónica. Luego se mandan los recipientes al experimentador, el cual comprueba las soldaduras y los abre. Se extraen las cartas mecánicamente y se compara su orden real con las declaraciones del vidente. Se filma toda esa operación. Este experimento no se ha practicado nunca: los parapsicólogos más conocidos se rebelaron contra la propuesta considerándola insultante, pero el hecho es que no recogieron el desafío. Todos los experimentos adscritos pueden criticarse con detalle y en todos sus puntos: desde el proyecto hasta la interpretación pasando por la realización efectiva. Por ejemplo: la inferencia obtenida a partir del Experimento # 4, según la cual la capacidad de aprendizaje es hereditaria, no es concluyente en vista de los experimentos de R. Melzak y W. T. Thompson, en 1956 que muestran que la capacidad de aprendizaje de animales criados en condiciones de aislamiento es muy inferior a la normal. Junto con el experimento # 4 estos otros sugieren que la capacidad de aprendizaje (o inteligencia) se debe tanto a factores hereditarios como ambientales. Ninguna parte de ningún experimento científico está por encima de toda crítica, y ésta es precisamente una razón que justifica el llamarlos experimentos *científicos*, y no experiencias místicas; otra razón en el mismo sentido es que todo experimento científico se proyecta con base en alguna teoría científica, y con la ayuda de las reglas del método científico.

Atendamos ahora a la inferencia sobre la significatividad de las diferencias *C-E*.

Problemas

13.4.1. Discutir las precauciones tomadas en el experimento resumido en el texto. ¿Para qué se toman? ¿Para facilitar la confirmación de las hipótesis afectadas o, por el contrario, para evitar que se beneficien de una corroboración fácil e irrelevante?

13.4.2. Imaginar aplicaciones posibles del resultado del Experimento # 3 en el terreno de la educación (o sea, para la cría de hombres dóciles que asientan a todo).

13.4.3. Examinar la difundida idea de que el experimento es exactamente lo mismo que el conjunto de operaciones efectivas (por ejemplo, lectura de aparatos de medición) requeridas por la experimentación.

13.4.4. Los experimentos cuantitativos requieren mediciones. ¿Vale la recíproca para toda clase de mediciones? ¿Qué puede decirse sobre esto a propósito de las mediciones practicadas en la física atómica y nuclear, que suponen el uso de dispositivos para la desintegración de los átomos?

13.4.5. En un proyecto factorial se incluyen todas las variables o factores suspectos de relevancia, con objeto de recoger las posibles interacciones entre ellos. Estudiar esa técnica a propósito del desideratum de la variación independiente de los factores. Cf. R. A. Fisher, *The Design of Experiments,* 6a. ed., Edinburgh y Londres, Oliver and Boyd, 1951, cap. VI.

13.4.6. Planear un experimento para someter a contrastación la popular idea de que las patas de conejo (o cualesquiera otros amuletos) traen buena suerte. (Y planearlo de tal modo que no se perjudique a los sujetos del experimento.)

13.4.7. La hipótesis de que los ruidos perjudican el aprendizaje pertenece al conocimiento ordinario. Para contrastarla y afinarla, averiguando en qué medida afecta el ruido al aprendizaje, hay que concebir y llevar a cabo algún experimento: Planear uno o dos.

13.4.8. Planear un experimento para averiguar el porcentaje de estudiantes dispuestos a copiar en los exámenes si disponen de una posibilidad con poco riesgo. Discutir el valor de la técnica de los cuestionarios para este caso concreto.

13.4.9. H. Hertz no habría podido, probablemente, planear su experimento sobre la producción y la detección de ondas electromagnéticas si no hubiera sido por la teoría electromagnética de Maxwell, la cual le suministró algo que someter a contrastación y le sugirió, además, el modo de hacerlo. Análogamente, la fantasía de algunos físicos contemporáneos no estaría solicitada por el planeamiento de posibles generadores de ondas gravitacionales si no fuera por la teoría einsteniana de la gravitación. Estudiar esta última situación y decidir si la teoría ha progresado lo suficiente como para sugerir modos de contrastarla.

13.4.10. La mayor parte de las contrastaciones practicadas en ingeniería, agronomía y psicología personal y de la educación no contrastan ideas, sino cosas y personas. Estudiar las diferencias entre los dos tipos de contrastación, y determinar si la intervención de ideas en la contrastación tecnológica constituye alguna garantía de que lo contrastado sean las ideas mismas. Recordar el cap. 11. *Problema en lugar de ése*: Examinar la tesis de que el trabajo de laboratorio consiste en hacer y leer "inscripciones". Cf. B. Latour y S. Woolgar, *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*, Londres y Beverly Hills, Sage, 1979; M. Bunge, *Sociología de la ciencia*, Buenos Aires. Sudamericana, 1998.

14.4. SIGNIFICACIÓN

Una vez realizado el experimento propiamente dicho, hay que interpretar y evaluar su resultado. En primer lugar, tenemos que descubrir si los estímulos dieron efectivamente lugar a alguna diferencia, o sea, si las diferencias entre el sistema experimental y el sistema de control –pues siempre habrá alguna diferencia– son *significativas* o son efecto de variaciones casuales (no controladas). Sólo en el caso de que las diferencias sean reales o significativas podemos plantear la cuestión siguiente acerca de su relación con el *input* que se ha aplicado. Y una vez averiguada dicha relación *input-output*, hay que intentar explicarla por medio de alguna teoría ya disponible o mediante la construcción de otra nueva. Tratemos primero el problema de la significación.

Supongamos que se ha llevado a cabo un *experimento no-estadístico*, toda medición del cual se ha repetido cuidadosamente varias veces. Lo primero que hay que hacer con la masa de datos en bruto es someterla a un análisis estadístico Para descubrir posibles errores sistemáticos (cf. sec. 13.6). Si no se descubren tales errores –o si, descubiertos, se corrigen y se practica toda una nueva serie de mediciones–, la primera tarea con que se encuentra a continuación el experimentador consiste en condensar el acervo de datos en bruto en un conjunto de proposiciones mucho más reducido que pueda a su vez exponerse en una tabla, resumirse (y generalizarse) en una ecuación o visualizarse en un gráfico. En la figura 14.7 se ha dibujado un gráfico imaginario en el cual los márgenes de error (las desviaciones estándar en torno de los valores medios) se indican por rectángulos; las bases de los rectángulos representan los márgenes de error para x, mientras que sus alturas representan los márgenes de error para y. Unos cuantos puntos aislados pueden encontrarse lejos de la tendencia general. Estos puntos desviados pueden ser genuinos o deberse a errores sistemáticos, causados, por ejemplo, porque el operador haya movido inadvertidamente una pieza del aparato. Cuando un punto aislado se encuentra separado de la línea de tendencia general por una distancia de más de tres unidades de error estándar en el correspondiente gráfico de frecuencia –cf. fig. 13.4 de la sec. 13.6–, puede pasarse por alto como error experimental. Tal vez el punto desviado no sea tal, y una posterior in-

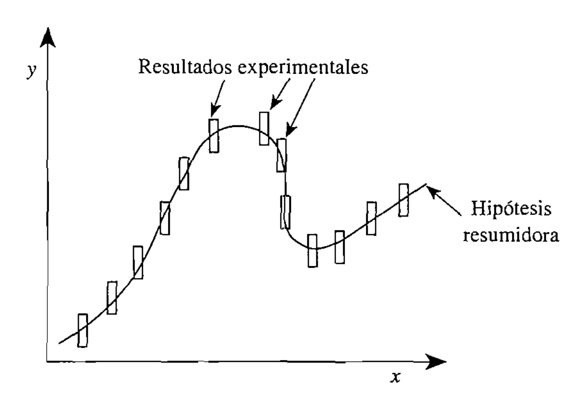


FIGURA 14.7. Resumen de resultados experimentales referentes a dos variables: la variable independiente o de control, x, y la variable dependiente, y.

vestigación pueda recuperarlo; pero en cada estadio hay que tomar una decisión, y la regla que acabamos de dar es de tolerancia suficiente.

Una vez cribados los datos experimentales puede hacerse con ellos cualquiera de las siguientes cosas. Una es sugerir una *nueva hipótesis cuantitativa* sobre las variedades bajo control, o sea, un nuevo enunciado legaliforme referente a esas variables. Otra posibilidad es usar los datos para *contrastar* o *volver a contrastar* una hipótesis previamente disponible. Una tercera posibilidad es la de *contrastar la validez de la técnica experimental* misma: éste será el caso cuando se esté ensayando un nuevo proyecto experimental sobre la base de una teoría ya corroborada. En cualquier caso, las respuestas dadas por experimentos cuantitativos o funcionales son en la mayoría de los casos bastante inequívocos, al menos por lo que hace a la significación de las diferencias entre el sistema de control y el sistema experimental. Cuanto más pensamiento se invierte en las ideas que hay que contrastar, tanto menos esfuerzo es necesario para establecer la significación del resultado: ésta es una de las ventajas del experimento cuantitativo respecto del cualitativo (del factorial, por ejemplo).

Supongamos ahora que tenemos los resultados de un *experimento estadístico,* resultados cualitativos o cuantitativos. Como tanto el sistema o grupo experimental cuanto el de control están sometidos a fluctuaciones estadísticas, por fuerza aparecerán algunas diferencias entre ellos, aunque no haya ningún estímulo en obra sobre el grupo "experimental". Por ejemplo, al contrastar hipótesis sobre la eficacia de un fertilizante, podemos hallar que una parcela tratada con él da una cosecha mayor que la parcela de control, pero puede ser también que la diferencia sea una coincidencia casual producida por la acumulación de hechos no controlados, como por ejemplo diferencias en la fertilidad del suelo. Para inferir una diferencia significativa no nos basta con un buen proyecto experimental que dé cabida al efecto de las variables no controladas –por ejemplo dividiendo la tierra de acuerdo con la técnica del cuadrado latino (cf. sec. 14.2); necesitamos además una *contrastación estadística de significación.* Sólo una vez superada esa contrastación podemos pasar a calcular el valor de la correlación, si la hay, entre las dos variables (en el ejemplo: rendimiento de la cosecha y cantidad de fertilizante).

Hay varias contrastaciones de significación (χ^2, t, F, etc.). En todas ellas se presentan las diferencias entre los valores de la variable dependiente (por ejemplo, el rendimiento de la cosecha) en el grupo de control y en el grupo experimental. Llamemos a esas diferencias $C_i - E_i$. Nos interesan sus valores absolutos, o sus cuadrados, no los signos de las diferencias, puesto que nuestra intención es simplemente averiguar si son casuales o no. Aún más: lo interesante son las razones $(C_i - E_i)^2/C_i$, no los valores absolutos, y aún más precisamente todas esas razones juntas, o sea, sumadas. Por tanto, una buena medida de las diferencias entre los resultados relativos a C y los referentes a E es la siguiente suma, llamada χ^2 (chi cuadrado):

$$\chi^2 =_{\text{df}} \Sigma_i (C_i - E_i)^2/C_i \qquad [14.5]$$

Un valor pequeño de χ^2 sugiere que la diferencia observada no es significativa, mientras que un valor grande se interpreta como asociación real entre la variable dependiente (por ejemplo, rendimiento de la cosecha) y la variable independiente (por ejemplo, la

cantidad de fertilizante). Como 'pequeño' y 'grande' son palabras vagas, necesitamos reglas más precisas si es que hay que contar con un procedimiento de decisión para afirmar o negar la significación de las diferencias halladas entre *C* y *E*. La estadística da un preciso procedimiento de decisión, pero aquí no podemos entrar en detalles técnicos: basta con indicar que la cuestión *¿Cuánta* significación tiene la diferencia dada'?' puede recibir una respuesta precisa.

En todo caso, si χ^2 se encuentra por debajo de un cierto mínimo, no hay diferencia sistemática entre *C* y *E*: las diferencias pueden ser reales, pero al azar, no efectos del estímulo. En este caso se dice que se ha establecido la *hipótesis del cero*, o hipótesis de la casualidad. Si tal es el caso, se eliminan de una vez las infinitas relaciones posibles entre las dos variables, y el experimentador puede pasar a estudiar otro par. Pero si χ^2 sobrepasa ese mínimo, queda refutada aquella hipótesis y se establece una *hipótesis programática,* a saber, que las variables independiente y dependiente se encuentran en alguna relación sistemática. La forma precisa de tal asociación queda abierta para investigación ulterior, en el caso, naturalmente, de que el experimentador tenga clara consciencia de que no ha superado más que un estudio exploratorio, y de que su objetivo, el descubrimiento de la estructura, está aún por alcanzar.

La estrategia de la investigación en el caso del experimento estadístico puede resumirse como sigue:

1. *Formulación de hipótesis de trabajo rivales*:

h_0 (*hipótesis del cero*): no hay diferencia sistemática *C–E*; no hay ley	h_1 (*hipótesis programática*) hay diferencia sistemática *C–E*; hay ley

2. *Ejecución del experimento.*
3. *Contrastación de la significación.*
4. *Inferencia*: si se confirma h_0, interesarse por otros pares de variables. Si se refuta h_0, inferir la relación sistemática (pero aún desconocida) entre las variables, y pasar al paso siguiente.
5. *Problema nuevo:* calcular los grados de asociación sistemática entre las dos variables.

Si la diferencia $C - E$ es significativa de acuerdo con alguna de las contrastaciones pertinentes, la tarea inmediata será calcular la intensidad de la asociación o covariancia entre las dos variables, o sea, la medida en la cual van juntas x e y, de tal modo que un aumento de x tienda a ir asociado con un aumento de y (correlación positiva) o con una disminución de y (correlación negativa). Hay varias medidas de asociación, o intensidad de relación; una de las más corrientes es el coeficiente de correlación. *La *covariancia*, o *relevancia recíproca*, de dos variables al azar, x e y, se define: Cov $(x,y) =_{\mathrm{df}} \overline{(x-\bar{x})\cdot(y-\bar{y})} = \overline{(x \cdot y)} - \bar{x} \cdot \bar{y}$. Para una sola variable, o sea, para el caso $x = y$, esa fórmula se reduce al cuadrado de la desviación estándar. Generalmente *el coeficiente de correlación* se toma como medida de la amplitud de la relación recíproca, y se define $r(x, y) =_{\mathrm{df}} \mathrm{Cov}(x, y)/\sigma_x \cdot \sigma_y$ "siendo $\sigma_x =_{\mathrm{df}} \overline{(x-\bar{x})^2}$, y análogamente para σ_y.*

El coeficiente de correlación $r(x, y)$ entre dos variables x e y es un número del intervalo [–1, +1]. Si $r = -1$, todos los puntos (x, y) se encuentran en una línea recta descendente; si $r = +1$, todos los puntos se encuentran en una línea recta ascendente; si $r = 0$, las dos variables carecen de toda asociación, y el conjunto de puntos carece de estructura (no hay ley); en casos intermedios los puntos se agrupan más o menos definidamente en elipses (cf. fig. 6.3 de la sec. 6.2). En algunos casos la distribución de los puntos puede sugerir una relación funcional entre x e y, pero eso sólo ocurrirá si las variables no oscilan desordenadamente, lo cual requiere un control preciso de las mismas.

Las contrastaciones de significación y el análisis de la correlación no deben ser el final de una serie de experimentos, porque no pueden dar de sí más que *hipótesis groseras* de la forma "x es relevante para y", o "x está intensamente (escasamente) y positivamente (negativamente) correlatada con y". Conclusiones así deben considerarse como indicaciones y estímulos para investigación ulterior. Desgraciadamente, en las ciencias de la vida y de la cultura hay demasiados experimentos que se detienen en ese punto, esto es, precisamente cuando se puede empezar a plantear los problemas más interesantes. Uno de éstos es el que pregunta si la correlación obtenida es real o fortuita. Una correlación, aunque sea intensa, puede ser accidental: o sea, dos variables pueden mostrar una intensa asociación durante cierto periodo, pero puede tratarse de una conjunción por azar. Si no son posibles más experimentos, la teoría puede servir para indicar si es posible que se haya dado con una asociación sistemática. Por ejemplo, si se ha observado que dos minerales se presentan juntos en un determinado depósito, la geoquímica podrá decirnos si esas rocas "pueden ir juntas" o "se complementan", y, por tanto, puede esperarse la misma asociación en todas las rocas de esa clase. Pero si es posible experimentar ulteriormente, podemos eliminar una de las dos variables –o mantenerla constante– y observar si desaparece o deja de cambiar su anterior correlatada.

Pero incluso cuando la correlación entre las dos variables es real y duradera, puede ser *directa* o *indirecta,* o sea, puede reflejar una asociación directa o deberse a una tercera variable, una variable subyacente. Así, por ejemplo, la correlación estatus social-rendimiento escolar, que es alta y positiva, es efecto de las mayores oportunidades de que disponen las personas bien situadas, y no un ejemplo de la supuesta correlación directa "Cuanto más alta socialmente está una persona, tanto más inteligente es." En estos casos se llama *espúrea* a la correlación, sin duda por alguna espúrea razón. Sólo una investigación ulterior podrá aclarar si tal es el caso o no. En resumen, pues, tenemos las siguientes clases de correlación:

$$\textit{Correlación}\begin{cases}\textit{Fortuita}\\ \textit{Real}\begin{cases}\textit{Directa}\\ \textit{Indirecta (espúrea)}\end{cases}\end{cases}$$

Una vez hallada una correlación, hay que someterla a prueba con más experimentos y/o teoría. Pero tampoco una correlación comprobada debe tomarse como objetivo final de la investigación: es más bien la base de un problema ulterior, a saber: ¿Cuál es el mecanismo subyacente a la correlación? O sea: ¿Qué la produce, y de acuerdo con qué le-

yes? Por ejemplo: ¿Cómo actúa sobre el metabolismo de las plantas el fertilizante eficaz para aumentar su tamaño? ¿Cómo obra el ruido sobre el sistema nervioso, inhibiendo el proceso de aprendizaje del sujeto? Las correlaciones –dicho brevemente– no son más que escalones: la meta o desideratum es un conjunto de relaciones funcionales que representen estructuras. Esas estructuras pueden tal vez no existir sino a un nivel más profundo que el de las variables correlatadas, o bien puede ocurrir que estas últimas sean variables compuestas, o sea, agregados que sólo un análisis teorético pueda desintrincar (como ha ocurrido con los conceptos de "conductividad" e "inteligencia", entre otros). En resolución: el experimento científico es una antorcha que ilumina en la búsqueda de estructuras. Pero no es la única antorcha, ni es tampoco infalible. Ya antes hemos argüido largamente que el experimento no se concibe ni interpreta en un vacío conceptual, sino en un cuerpo de ideas científicas y filosóficas; tomemos ahora el problema de la falibilidad de las contrastaciones experimentales.

Problemas

14.4.1. Los primeros partidarios de la hipótesis de que la inteligencia es heredada presentaban como evidencia en favor de ella unos cuantos árboles genealógicos familiares muy distinguidos, como el de los Bernoulli, el de los Bach, el de los Darwin. Los partidarios de la hipótesis del medio ambiente sostenían que un ambiente familiar favorable y casi constante puede explicar esas inclinaciones y éxitos intelectuales. En resolución: un mismo cuerpo de evidencia (los árboles genealógicos) sostenía dos hipótesis recíprocamente contradictorias. El procedimiento seguido para decidir entre ambas consistió en abandonar aquellos ambiguos árboles familiares y practicar estudio cuidadoso de hermanos gemelos. La correlación entre los rendimientos de gemelos univitelinos (con la misma dotación genética exactamente) resultó de 0,95, mientras que los demás gemelos no daban como correlación más que 0,65. Analizar este llamado método de los gemelos: indicar las variables tenidas en cuenta y determinar si es propiamente un experimento. Informar, por último, acerca del actual estado de la cuestión.

14.4.2. Imaginar cómo podría decidirse entre las siguientes hipótesis, recíprocamente incompatibles. (*i*) "Si la religión disuade del crimen, entonces la religiosidad tiene que estar negativamente correlatada con el crimen". (*ii*) "Si los criminales necesitan y buscan la ayuda de la religión más que las demás personas, entonces tiene que haber una correlación positiva entre la religiosidad y la criminalidad". (*iii*) "Si algunas religiones hacen al individuo egoísta, permitiéndole expiar fácilmente sus culpas, entonces tiene que haber una correlación positiva entre la criminalidad y algunas clases de religiosidad". Se encontrarán algunos estudios estadísticos de este problema en M. J. Maroney, *Facts from Figures*, Londres, Penguin, 1956, pp. 303ss.

14.4.3. El gerente de una industria, con el deseo de mejorar el rendimiento del trabajo, aumenta la iluminación, pinta los talleres con colores brillantes, mejora las condiciones sanitarias y ofrece incentivos económicos. Como resultado de todo ello aumenta realmente el producto. ¿Está justificada la conclusión directa de que el aumento del producto ha sido efecto de los cambios que introdujo? Tener en cuenta que el mismo aumento habría podido darse en grupos de control, como efectivamente ocurrió en los primeros experimentos sobre productividad practicados en la década de los veinte.

14.4.4. En la estadística matemática se demuestra el teorema siguiente: "Si dos variables casuales son independientes, entonces su coeficiente de correlación es cero." Supongamos que un

experimento nos "dice" que un determinado coeficiente de correlación es cero: ¿podemos inferir de eso que las variables correspondientes sean recíprocamente irrelevantes?

14.4.5. Repasar las varias contrastaciones de significación y examinar sus limitaciones.

14.4.6. Repasar las varias mediciones de asociación de variables y precisar sus respectivas ventajas.

14.4.7. ¿Qué es lo que determina la elección entre contrastaciones de significación y coeficientes de asociación? ¿O es la elección arbitraria?

14.4.8. Estudiar las inferencias ambiguas de relación sistemática a partir de correlaciones.

14.4.9. Entre las concepciones erróneas de la aplicabilidad de la metodología estadística se encuentra la creencia en que no puede aplicarse más que cuando el objeto se comporta casualmente. Discutir esa idea y mostrar que ya es condición suficiente para la aplicación de la estadística el que *nuestra información* sea una muestra al azar de una gran población de datos posibles. Por último, examinar si esa condición queda de hecho satisfecha en el experimento científico, y recordar la Regla 1 de la sec. 10.4.

14.4.10. Discutir el sentido de los coeficientes de correlación y de las desviaciones estándar en la mecánica cuántica: Cf. M. Bunge, "A survey of the interpretations of quantum mechanics", *American Journal of Physics*, *24*: 272-86, 1956. *Problema en lugar de ése*: Suele describirse la tarea del metodólogo como la descripción de los procedimientos científicos corrientes. ¿Puede también criticarlos y proponer otros? En caso afirmativo, ¿con qué condiciones?

14.5. PRUEBA DE LA CONTRASTACIÓN

Cuando nos cuesta trabajo cortar la carne con el cuchillo no declaramos sin más que el bistec es duro, sin comprobar antes que el cuchillo corta aplicándolo a algo de dureza conocida, como una corteza de pan; también podemos usar una prueba de dureza que es independiente del cuchillo: por ejemplo, morder el bistec. En cualquier caso, *sometemos a prueba* nuestro procedimiento de contrastación mediante una técnica *independiente*, en vez de creer ciegamente sus resultados. Esta precaución que frecuentemente tomamos en la vida ordinaria se puede pasar por alto en otras cuestiones: las pruebas medievales para establecer la brujería no se sometieron nunca a su vez a prueba de un modo independiente, y del mismo modo acrítico se aplica el *test* de las manchas de tinta para el estudio de los rasgos de la personalidad. En la ciencia, por el contrario, se examinan cuidadosamente los procedimientos empíricos, tanto los de observación como los experimentales.

Los procedimientos de contrastación, o técnicas experimentales, deben contrastarse o convalidarse *teorética* y *experimentalmente*: experimentalmente, porque pueden no funcionar, y teoréticamente porque, aunque funcionen, el funcionamiento puede deberse a alguna causa distinta de la presumida en la presentación del procedimiento. La contrastación teorética de una técnica experimental consiste en explicar, a base de teorías independientemente corroboradas, cómo funciona el procedimiento. Incluso una técnica que tenga éxito debe considerarse sospechosa mientras sus éxitos –y sus limitaciones– no se expliquen a base de leyes científicas. En la ciencia pura, por lo menos, cuando se propone una nueva técnica experimental, se la analiza para determinar, sobre la base del conocimiento disponible, si puede dar resultado; por esta razón es raro que los científicos pierdan el tiempo contrastando técnicas charlatanescas.

Así, por ejemplo, cuando se propuso por vez primera la técnica del carbono radiactivo para fechar restos, la idea estaba bien fundada en el conocimiento disponible: se sabía que los organismos absorben carbono ordinario, C^{12}, y carbono radioactivo, C^{14}, en una razón constante; se conocía además la ley de la duración (periodo) de C^{14}. Este conocimiento explicaba los éxitos de la técnica y su limitación a hechos que no se remonten a mucho más de 5 000 años, que es la mitad del periodo del carbono radioactivo. Pese a ese fundamento teorético, la técnica del carbono radioactivo se puso a prueba comparando sus resultados con los de otras técnicas. Por ejemplo: se estimó la edad de los megalitos de Stonehenge analizando una muestra de carbón vegetal hallado en un pozo ritual de la estación y se vio que el resultado (1800 a.C.) era compatible con el resultado hallado independientemente gracias a determinada evidencia astronómica. También se practicó otra contrastación posible gracias a los objetos procedentes de antiguas tumbas egipcias cuya edad se conocía con precisión por documentos históricos. En el caso de árboles se pudo comparar el resultado de la técnica del carbono radiactivo con la cronología establecida mediante los anillos de los troncos. De este modo fue posible averiguar que el margen de error de la técnica del carbono radioactivo es del 5% aproximadamente; ese margen se ha reducido luego.

Hay un caso más reciente de *contrastación cruzada:* el análisis del tetrafloruro de xenón, o, en general, de cualquier compuesto nuevo interesante. La fórmula de la composición química "XeF_4" se infirió primero (1962) de la razón entre el flúor y el xenón consumidos en la reacción. La hipótesis se contrastó luego recuperando el xenón, o, más precisamente, analizando los productos de la reacción "$XeF_4 + H_2 \rightarrow Xe + 4HF$". La hipótesis se siguió contrastando independientemente con otros métodos no-químicos, como la determinación del peso molecular de XeF_4 con un espectrómetro de masa y el análisis por rayos X. Las varias contrastaciones se suministraban recíprocamente un control y, además, evidencias de nuevas clases: o sea, descubrían nuevas propiedades del compuesto. En general, los más valiosos conjuntos de técnicas experimentales son los de las más independientes, porque pueden controlarse unas a otras sin circularidad y porque arrojan la mayor cantidad de datos.

Bastantes procedimientos empíricos utilizados en medicina y en psicología clínica está por el momento sin fundamento teórico y no se han contrastado mediante otras técnicas independientes; aún más grave es que algunos de ellos han resultado incompatibles con la teoría y con otras técnicas en concurrencia con ellos. Éste es el caso, en particular, de los procedimientos intuitivos para el estudio de la personalidad –como la entrevista, el interrogatorio psicoanalítico y los *tests* proyectivos. Sus sostenedores no han sometido nunca a contrastación esos supuestos *tests*, ni teorética ni empíricamente: los han propuesto pitonísticamente sin preocuparse por hacer estudios continuos de los sujetos, único procedimiento que podría decirnos si los sujetos se comportaron realmente como se les profetizó con base en los supuestos *tests*. Cuando realmente se han contrastado esos procedimientos intuitivos, han presentado o bien una correlación bajísima –por debajo de 0,50– o bien una correlación sistemáticamente negativa entre la predicción clínica y el rendimiento real. Dicho de otro modo: las conjeturas clínicas hechas con procedimientos intuitivos –sin fundamento– no suelen ser mejores que las que cada uno de nosotros puede hacer echando una moneda a cara y cruz; muchas veces tienen incluso menos posibi-

lidades de acertar que con este procedimiento, lo cual indica que, en el mejor de los casos, se basan en hipótesis falsas.

Un buen procedimiento de contrastación debe cumplir satisfactoriamente las siguientes condiciones:

1. *Validez* o adecuación: tiene que medir o poner a prueba lo que se supone mide o pone a prueba. P. ej., una prueba de acuidad auditiva no debiera de confundirse con una prueba de comprensión, y una prueba de habilidad computacional no debiera de tomarse por prueba de capacidad matemática.

2. *Fundamentación*: tiene que ser consistente con lo que ya se conoce y, si es posible, la teoría científica corriente tiene que explicar sus éxitos y sus limitaciones. Sólo esto asegura la llamada *validez* del test.

3. *Objetividad*: el rendimiento, el registro y la interpretación del procedimiento deben ser esencialmente independientes del operador. Prueba de esta condición: que los resultados del procedimiento no varíen significativamente de operador a operador.

4. *Estabilidad*: el procedimiento debe contrastar siempre la misma cosa. Prueba de esta condición: que los resultados obtenidos al cabo de un breve intervalo muestren un alto grado de concordancia (auto-correlación) con los anteriores.

5. *Concordancia con otros procedimientos*: los procedimientos de contrastación, igual que las leyes y las normas científicas, tienen que apoyarse en, o ser refutados por, otros miembros del cuerpo del conocimiento científico, y no presentarse aislados. Cuando se propone un nuevo procedimiento de contrastación, los procedimientos ya viejos y establecidos deben, por así decirlo, vigilar y estimar su rendimiento. Prueba de esta condición: que sea alta la correlación entre los resultados del nuevo procedimiento y los de procedimientos concurrentes ya aceptados.

En resolución, los procedimientos empíricos tienen que ser *escrutables*: analizables, comparables, criticables y, en principio, perfeccionables. Lo mismo vale, desde luego, para todos los resultados de contrastaciones empíricas: aunque la técnica misma sea válida, puede practicarse o interpretarse mal. Sólo los filósofos ingenuos tienen una fe ciega en los resultados experimentales: el buen experimentador desconfía del proyecto, del aparato, del rendimiento, de las hipótesis supuestas, de la interpretación de los resultados, razón por la cual lo mantiene todo controlado y lo somete a prueba una y otra vez.

Las informaciones de experiencia científica –de observación, medición o experimento– son pues tan falibles como las técnicas y las hipótesis. Pero su falibilidad no es como para contentar al escéptico radical, porque pueden mejorarse. A veces los mismos fracasos indican el camino de una corrección eficaz, siempre que los fracasos sean explicados por la teoría. También aquí, pues, llegamos a la conclusión de que los procedimientos empíricos carecen de valor si no van acompañados por teoría científica.

Problemas

14.5.1. Enumerar las clases de errores que pueden hacerse al experimentar. Cf. W. B. Cannon, *The Way of an Investigator*, Nueva York, W. W. Norton, 1945, cap. XI; y E. B. Wilson, *An Introduction to Scientific Research*. Nueva York, McGraw-Hill, 1952, pp. 119ss. ¿Qué ha sido de la popular idea según la cual los experimentos no pueden fallar?

14.5.2. Dado que una contrastación fiable debe ser objetiva, ¿mejoraría la fiabilidad el construir máquinas para hacer e interpretar contrastaciones?

14.5.3. ¿Qué haríamos si se nos presentara un conjunto de filamentos gaseosos que se movieran en el espacio emitiendo una voz terrificante? ¿Creeríamos que es una aparición del trasmundo o rechazaríamos esta interpretación basándonos en que no encaja en nuestro conocimiento científico? Dicho de otro modo: ¿aceptaríamos la fantasía sobre ectoplasmas como una técnica fiable para estudiar los fantasmas?

14.5.4. Discutir la tesis de que algunas experiencias –místicas, metafísicas o científicas– son definitivas y terminales.

14.5.5. ¿Debemos creer ciegamente en las técnicas experimentales utilizadas por los científicos más destacados de nuestra época?

14.5.6. ¿Qué es más valioso, la proyección inteligente del experimento o la habilidad en su puesta en práctica? ¿Y en qué relación están ambas cosas?

14.5.7. ¿Cómo se convalidan los ensayos químicos (por ejemplo: sobre qué base se adopta el papel de tornasol para la identificación de la acidez)?

14.5.8. Discutir la observación de R. A. Fisher según la cual la planeación y la interpretación de los experimentos son actividades interdependientes, porque un experimento mal proyectado es susceptible de varias interpretaciones o da resultados que son en algún respecto inconcluyentes.

14.5.9. Los parapsicólogos sostienen que sus "experimentos" tienen que desarrollarse en el seno de una atmósfera amistosa, y no en presencia de críticos hostiles o escépticos, porque las personas "sensibles" pueden perder sus capacidades extraordinarias. Examinar esa pretensión. Decidir, en particular acerca de si esa condición no hace sin más a la parapsicología empíricamente irrefutable, lo que quiere decir no-científica.

14.5.10. El experimento siguiente se ha llevado a cabo para contrastar la hipótesis de que los animales superiores –por ejemplo, ratones– eligen su alimento no sólo en razón de su valor para el metabolismo (conjunto de variables fisiológicas), sino también a base de su gusto (variables psicológicas). Se ofrece agua azucarada de diferentes concentraciones –por tanto, más o menos dulce– a ratones normales y a otros ratones cuyo sentido del gusto se ha destruido mediante extirpación de las correspondientes áreas del cerebro. Resultado: mientras que los ratones normales muestran una acusada preferencia por la concentración media, los ratones operados no manifiestan preferencia alguna. Problema: ¿Cómo podemos averiguar independientemente que lo extirpado a los ratones operados ha sido precisamente las zonas del *gusto* de su cerebro?

14.6. FUNCIONES

¿Por qué se hacen experimentos? ¿Qué se gana con experimentar? En primer lugar, y hablando metafóricamente, todo experimento es una pregunta directa y precisa a la realidad, en la medida en que todo conjunto de factores o *inputs* ("preguntas") produce un conjunto de productos u *outputs* ("respuestas") y plantea así al teórico el problema de dar razón de (o explicar) un conjunto de pares "pregunta"-"respuesta". En segundo lugar, muchas de esas "preguntas" no se plantean espontáneamente en un ambiente natural: la radioactividad inducida, la mutación genética inducida o el aprendizaje de animales con los dispositivos laberínticos no suelen realmente ocurrir en estado de naturaleza. El experimento, al enriquecer el conjunto de los hechos que ocurren naturalmente, es capaz de revelar profundos e insospechados aspectos de las cosas. (Eso ocurre a veces, por ejem-

plo, cuando se pide a un amigo que asuma cierto riesgo.) En tercer lugar, mientras que los hechos espontáneos son por lo común extremadamente complejos, los hechos experimentales son más simples, y, por lo tanto, más tratables. El control de las variables, que es peculiar al experimento, pone al objeto más cerca de su modelo teorético ya por el hecho de concentrarse en torno a pocas variables, reducir sus campos de variabilidad y minimizar las perturbaciones y las irrelevancias presentes en todo sistema natural, especialmente el "ruido" característico de los datos puramente observacionales.

Así pues, por unas cuantas buenas razones el experimento se ha hecho esencial a la moderna ciencia factual. Pero eso no significa que el experimento pueda *suplir*, como igual, la teoría, ni que sea la *base* de ésta, ni que sea la *instancia rectora* de la ciencia factual. Todo experimento es búsqueda de respuesta a una pregunta originada en un cuerpo de ideas; tiene que proyectarse e interpretarse, a diferencia de lo que ocurre con el ciego azar del ensayo-y-error, y tanto la proyección cuanto la interpretación de los experimentos requieren sistemas de hipótesis más o menos elaborados. La ejecución de un experimento es la realización de un plan concebido gracias a ciertos supuestos, y lo que da como resultado es un mensaje cifrado que no puede descifrarse fuera de un cuerpo de conocimiento. El experimento es un *medio,* no un fin, y ello tanto por lo que hace a la producción de nuevas ideas cuanto por lo que se refiere a la contrastación de ideas en general; el experimento puede ser un objetivo, un fin en sí mismo, para tal o cual científico en un determinado momento de su trabajo, pero no puede serlo para la ciencia como empresa colectiva de la humanidad. En resolución, no es posible ningún experimento si no hay ideas; el experimento es una materialización de ideas, pero no para fijarlas dogmáticamente, sino para contrastarlas y enriquecerlas.

Los psicoanalistas han recogido cierto número de observaciones –pero no han conseguido un sólo experimento–, y han suscitado también cierto número de problemas interesantes –pero mal concebidos. Su material empírico resulta inútil porque no han utilizado técnicas de control y porque carecen de una teoría consistente, plenamente contrastable y rectificable, por medio de la cual pudieran interpretarse (explicarse) sus observaciones. Los antiguos astrólogos también prestaron un enorme servicio a la ciencia con sus numerosas observaciones correctas y su invención de dispositivos para la observación y el cálculo astronómicos. Pero su teoría era falsa en la medida en que era contrastable, y era predominantemente irrectificable (dogmática). Y los alquimistas superaron a los psicoanalistas y a los astrólogos en sus correctas descripciones de sustancias y procesos, así como en su proyecto y construcción de útiles, técnicas y aparatos hoy en uso. Pero su teoría era demasiado simple para ser verdadera, sus operaciones fueron demasiado ciegas para ser útiles, y ellos mismos nunca se preocuparon de contrastar o corregir sus ideas: igual que los psicoanalistas y los astrólogos, su principal tarea era ilustrar sus dogmáticas, fijadas opiniones y aplicarlas a fines prácticos. Las tres fueron disciplinas *empíricas* en el sentido de que utilizaban la experiencia; pero ninguna de ellas fue *experimental* en el moderno sentido de la palabra, porque no tenían teoría consistente, contrastable, rectificable y razonable (o sea, externamente consistente) para proyectar e interpretar sus operaciones.

La moraleja de la historia de la pseudociencia está clara: no hay masa de observaciones, ni siquiera de experimentos, que tenga valor si no se han realizado e interpretado a la luz de una teoría compatible con el cuerpo del conocimiento científico y metacientífico

y capaz de aprender de la experiencia. Por eso la experiencia, y, en particular, el experimento, es insuficiente: es un medio para plantear problemas y contrastar las soluciones propuestas a los mismos. Una operación empírica, tanto si es una observación suelta como si es un experimento controlado, puede dar origen a un problema interesante o incluso a una conjetura de interés, siempre que tenga lugar en un cuerpo de conocimiento. Y la experiencia científica no tiene valor de contrastación más que si es relevante para alguna hipótesis precisamente formulada y que no pueda compadecerse con cualquier resultado. En resolución, la experiencia científica es estimable en la medida en que está empapada de ideas, ideas que la experiencia es entonces capaz de controlar y enriquecer.

La ausencia de interacción entre la teoría y el experimento explica el fracaso de los griegos en el intento de ir más allá de Arquímedes, así como la esterilidad de las pocas observaciones y el manojo de experimentos realizados en la Edad Media: esas operaciones estaban mal guiadas por teorías falsas o bien eran autocontenidas, en el sentido de que no aspiraban más que a averiguar cómo son ciertas cosas y, en el mejor de los casos, qué ocurriría si se provocaran ciertos cambios. Dicho sea de paso, este primitivismo es el tipo de experimento recomendado por el conductismo clásico. La verdad es que lo mejor que podían dar de sí los escolásticos era la mera observación y la experimentación casual orientadas a conseguir datos, no experiencia relevante para alguna opinión preestablecida dogmáticamente: y eso es lo que hicieron Alberto Magno, Petrus Peregrinus y Rogerio Bacon. Desgraciadamente, esa situación tiene su paralelo en gran parte de la contemporánea investigación psicológica y social, en la cual las teorías son especulativas y las operaciones empíricas no están sistemáticamente orientadas por teorías, sino por el mero deseo de ver qué pasa.

En cuanto a los experimentos realizados entre los siglos XV y XVII por artesanos, entendidos en artillería y balística, cirujanos, alquimistas y fabricantes de instrumentos, puede decirse que no tuvieron una aspiración principalmente cognoscitiva, sino práctica: aquellos hombres querían saber cómo trabajaban ciertas cosas y ciertos procedimientos fabricados por el hombre, no si determinadas teorías eran o no verdaderas. Ni las observaciones sueltas de los escolásticos ni la corriente experimentación técnica de los mejores artesanos son el origen de la moderna ciencia experimental: ni unos ni otros utilizaron el *método experimental*. Éste no es un procedimiento que sirva simplemente para ver qué pasa si uno cambia empíricamente los valores de ciertas variables –por ejemplo, si se reduce el número de alas de una mosca. El método experimental es el modo como las *hipótesis* factuales se *contrastan* empíricamente, a saber, mediante el *control* riguroso de las variables relevantes y de las inferencias "obtenidas de" (sugeridas por) los resultados de la operación. El que aplica el método experimental tiene alguna idea que contrastar y algunas otras para proyectar la contrastación.

Por tanto, el aficionado a la radio que juega con circuitos intentando intuitivamente mejorar el rendimiento, sin utilizar ni contrastar explícitamente toda teoría física relevante, no es un experimentalista; al igual que Leonardo da Vinci, al igual que los artilleros con los que colaboró Galileo en el arsenal de Venecia, al igual que el cirujano militar Vesalio, que trazaba dibujos anatómicos en el campo de batalla, el aficionado a la radio es un artesano calificado. El hacer cosas no tiene valor cognoscitivo en sí: la producción es inútil para el progreso del conocimiento a menos que se trate de una idea susceptible de

contrastación por la producción –por ejemplo, alguna hipótesis de investigación operativa. La mera producción, con ignorancia del mecanismo o sin suscitar nuevos problemas de conocimiento, es cognoscitivamente inútil, por más valor práctico que tenga. En resolución: la producción, pura o aplicada, no es útil para la ciencia más que cuando es una contrastación de ideas, no una sustitución de éstas. Un experimentalista genuino no es, pues, como el artesano o el mecánico, sino un estudioso capaz de concebir (proyectar) experimentos y técnicas experimentales para contrastar hipótesis.

Esas diferencias entre el experimento y el método experimental, entre el artesano calificado y el experimentador, entre la producción y la investigación, etc., son el objeto propio de la discusión cuando se habla de los orígenes de la ciencia moderna y se estiman los papeles de los técnicos y tecnólogos en los laboratorios modernos. Por eso tales cuestiones tienen interés para el historiador de las ideas y para el administrador de la investigación científica, igual que para el científico puro.

El científico puro tiene objetivamente interés, y debe, por tanto, interesarse por averiguar qué es lo que hace valioso un experimento: en qué condiciones un experimento puede resolver o plantear un problema importante de la investigación. En particular, el científico puro tiene que averiguar si un determinado experimento es más o menos concluyente, porque, si no lo es, tendrá que repetirlo o volver a proyectarlo de otro modo que garantice su relevancia. Puede decirse que un experimento es *inconcluyente* respecto de un determinado conjunto de hipótesis si es irrelevante para éstas o si su resultado es coherente con el conjunto dado y con otro conjunto rival del primero. El caso en el cual es el error experimental el que oculta el efecto esperado cae dentro de la segunda categoría. Se entiende fácilmente que tiene que haber experimentos inconcluyentes, porque (*i*) es grande el número de fuentes de error, (*ii*) mucho depende de la interpretación de los resultados, y (*iii*) cualquier conjunto de resultados experimentales puede en principio derivarse de varias teorías diversas.

Pero, ¿hay experimentos *concluyentes*, experimentos que decidan, inequívoca y concluyentemente en favor o en contra de alguna hipótesis? En particular: ¿hay experimentos *cruciales*, experimentos que nos permitan decidir inequívoca y definitivamente entre dos hipótesis rivales, como, por ejemplo, la hipótesis del cero (o del azar) y su negación? La respuesta que se dé a esta pregunta no dependerá sólo del proyecto experimental y del resultado del experimento, sino también de la naturaleza de la hipótesis o teoría puesta en contrastación por el experimento. Una cosa es contrastar una hipótesis de existencia y otra, muy diferente, contrastar una hipótesis universal. Y también son cosas distintas, por un lado, el someter a prueba una hipótesis cualitativa y, por otro, el contrastar una hipótesis cuantitativa. Análogamente, no es lo mismo someter a contrastación una hipótesis suelta que contrastar una teoría que disponga de un número ilimitado de consecuencias contrastables. En resumen: la respuesta a la pregunta que inquiere el valor de un experimento tiene que buscarse en el curso de un análisis de (*i*) el proyecto experimental, (*ii*) los resultados experimentales o datos, y (*iii*) la relación lógica entre los datos y las construcciones (hipótesis y teorías) para las cuales se supone que son relevantes los datos. Como ya hemos estudiado (*i*) y (*ii*), atenderemos ahora a (*iii*), o sea, al problema de la lógica de la contrastación empírica o, como también se dice, la cuestión de la inferencia científica. Éste será el tema del próximo capítulo.

Problemas

14.6.1. Comentar las *Reglas y consejos sobre investigación científica*, de S. Ramón y Cajal, fundador de la neurociencia moderna.

14.6.2. Desenterrar los supuestos ontológicos y gnoseológicos del método experimental. Averiguar, en particular, si supone la existencia objetiva de los objetos sobre los cuales se experimenta, y la imposibilidad de influir sobre los instrumentos de medición por telequinesis.

14.6.3. En los campos de concentración nazis se realizaron decenas de miles de experimentos sobre prisioneros: sometimiento a condiciones extremas de hambre, frío y cansancio, y hasta vivisección. La finalidad perseguida o pretextada era "ver qué ocurría", no contrastar hipótesis precisas. ¿Se trató realmente de experimentos científicos? *Problema en lugar de ése*: Estudiar el problema ético de la experimentación médica sobre seres humanos: ¿está justificada? Si lo está, ¿en qué condiciones? Cf. el Código de Nuremberg, *Science*, *143*, 553, 1964.

14.6.4. Pocas veces se han sometido las técnicas psiquiátricas a una prueba de observación, por no hablar ya de experimentos. ¿Por qué se usan si, en cambio, los fertilizantes y los germicidas no se ponen en el mercado sin probarlos antes? *Problema en lugar de ése*: ¿Es suficiente la experiencia para confirmar (refutar) ideas, o bien requiere la confirmación (refutación) alguna elaboración teorética?

14.6.5. Discutir la tesis empirista radical según la cual el experimento suministra respuestas directas a las preguntas o cuestiones, sin necesidad de hipótesis ni de teorías, por lo cual una ciencia lo suficientemente adelantada es una ciencia puramente experimental. *Problema en lugar de ése*: ¿Por qué tantos científicos del comportamiento identifican la investigación con la observación y la experimentación supuestamente sin ideas teóricas?

14.6.6. Discutir la tesis deductivista según la cual el único papel del experimento en la ciencia consiste en producir la refutación de hipótesis, esto es, en talar parcialmente o eliminar completamente ideas o cuerpos de ideas.

14.6.7. La teoría de la evolución no acabó de aceptarse plenamente, tras superar toda resistencia tradicional, sino en la década de 1940, una vez producidos dos cambios revolucionarios en ese terreno teórico; (*i*) la síntesis de la teoría de Darwin con la genética, y (*ii*) la producción y observación deliberadas de cambios por adaptación en bacterias y en la mosca de la fruta; estos hechos situaron definitivamente la teoría de la evolución en el radio del método experimental. Comentar este proceso de historia de la ciencia.

14.6.8. Elaborar ulteriormente la siguiente dicotomía:

Ciencias factuales
- *No experimentales*, o no de laboratorio
- *Experimentales*, o de laboratorio

Tener en cuenta que, hasta hace poco, los geólogos no realizaban experimentos sobre modelos a escala reducida –por ejemplo, para simular fenómenos de plegamiento o de erosión–, que el estudio de la evolución era una disciplina empírica, pero no experimental, y que la sociología y la economía no habían empezado la aplicación de modernas técnicas experimentales a pequeños grupos.

14.6.9. Estudiar la función de la experiencia ordinaria (de la vida cotidiana) y del experimento propiamente dicho en las ciencias matemáticas, en las cuales aquéllos pueden presentarse no sólo con una función sugeridora de ideas e hipótesis, o incluso de problemas, sino también como elementos que ayudan a hallar soluciones aproximadas a problemas que permitan el tratamiento mediante la construcción de modelos físicos. En particular, examinar (*i*) el papel que puede haber desempeñado la experiencia en la obra matemática de Arquímedes, (*ii*) el uso de las técnicas de

Monte Carlo o de muestreo al azar para fines de cómputo, y (*iii*) el uso de las calculadoras, a diversos niveles, en el trabajo propio de la matemática pura.

14.6.10. Algunos distinguidos historiadores de la ciencia, sobre todo P. Duhem, J. H. Randall, Jr., y A. C. Crombie, han sostenido que la ciencia moderna nació en la Edad Media. La evidencia documental que han presentado en favor de esa hipótesis puede clasificarse en tres grandes grupos: (*i*) los experimentos realizados en París durante los siglos XIII y XIV, así como en Padua en el siglo XVI; (*ii*) las hipótesis físicas ajenas a la tradición aristotélica propuestas intermitentemente a partir del siglo XIII, y (*iii*) la metodología elaborada por la escuela de Padua. Discutir esa tesis. *Problema en lugar de ése*: Varios historiadores de la ciencia, con A. Mieli entre ellos, han considerado a Leonardo da Vinci como científico por el hecho de que practicó experimentos y hasta por haber elogiado el experimento –igual que hizo Roger Bacon mucho antes que él– como fuente de conocimiento. Discutir esa opinión. Cf. C. Truesdell, *Essays in the History of Mechanics*, Nueva York, Springer, 1968.

BIBLIOGRAFÍA

Atkinson, R. C., *et al.*, *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*, 2a. ed., Reading MA: Addison-Wesley, 1988.

Baird, D. C., *Experimentation: An Introduction to Measurement Theory and Experiment Design*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1962, caps. 4-6.

Bernard, C., *Introducción al estudio de la medicina experimental* (1865), diversas ediciones castellanas.

Blalock, H. M., y A. B. Blalock (eds.), *Methodology in Social Research*, Nueva York, McGraw-Hill, 1968.

Bunge, M., *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel, 1978.

Cochran, W. F., y C. M. Cox, *Experimental Designs*, 2a. ed., Nueva York y Londres, John Wiley, 1957.

Conant, J. B., *On Understanding Science*, New Haven, Yale University Press, 1947.

—— (comp.), *Harvard Case Histories in Experimental Science*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1957, 2 vols.

Cox, D. R., *Planning of Experiments*, Nueva York y Londres, John Wiley and Sons, 1958.

Eysenk, H. J. (ed.), *Experiments in Behaviour Therapy*, Oxford, Pergamon, 1964.

Fisher, R. A., *The Design of Experiments*, 6a. ed., Edinburgh y Londres, Oliver and Boyd, 1951.

——, *Statistical Methods and Scientific Inference*, Edinburgh y Londres, Oliver and Boyd, 1951.

Gabriel, M. L., y S. Fogel (eds.), *Great Experiments in Biology*, Englewood Cliffs N. J., Prentice Hall, 1955.

Galison, P., *How Experiments End*, Chicago, University of Chicago Press, 1987.

Greenwood, E., *Experimental Sociology: A Study in Method*, Nueva York, King's Crown Press, 1945.

Guetzkow, H. (ed.), *Simulation in Social Sciences: Readings*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1962.

Hacking, I., *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge University Press, 1983.

Moroney, M. J., *Facts from Figures*, Londres, Penguin, 1956.

Ramón y Cajal, S., *Reglas y consejos sobre investigación científica*, en *Obras literarias completas*, Madrid, Aguilar, 1961.

Yule, Y., y G. Kendall, *An Introduction to the Theory of Statistics*, 14a. ed., Londres, Griffin, Nueva York, Hafner, 1950.

15. LA INFERENCIA CIENTÍFICA

El hombre civilizado es un animal que hace conjeturas: está constantemente inventando hipótesis y poniéndolas a prueba, y saltando a audaces "conclusiones" sobre su valor. La actitud científica no consiste en prohibir esos saltos inferenciales, sino en controlarlos. En este último capítulo vamos a examinar cómo se ejerce ese control, y veremos que está gravemente limitado: no hay en efecto ningún criterio a prueba de cualquier riesgo que pueda aplicarse a esos saltos inferenciales hasta las "conclusiones" correctas, a menos que se trate de conclusiones propiamente dichas, o sea, de consecuencias deductivas de algún conjunto de premisas. El problema de la inferencia científica no deductiva es muy serio y difícil, ya por el mero hecho de que entre las ideas y los hechos que se supone representan aquéllas existe un indudable hiato: ¿cómo juzgar, en efecto, si una idea "encaja" con su referente? Y si la idea es propiamente una hipótesis, ¿cómo podemos compararla con evidencia empírica, si una y otra no tienen los mismos conceptos y están consiguientemente formuladas en lenguajes diferentes? Hasta los procedimentos más elementales por los cuales contrastamos nuestras ideas sobre los hechos suponen problemas filosóficos graves y escasamente resueltos, como el problema de la verdad y el de la inferencia científica, esto es, el problema de la adscripción de valores veritativos a las ideas científicas. La finalidad de este capítulo es examinar esos procedimientos y poner de manifiesto la filosofía subyacente a los mismos.

15.1. INFERENCIA

La inferencia es el paso de un conjunto de proposiciones a otro; el primer conjunto puede llamarse la clase de las premisas, y el segundo la clase de las conclusiones. Como otras actividades humanas, la inferencia puede tener éxito o no conseguirlo. Pero, a diferencia de otras actividades humanas, la inferencia puede ser válida y al mismo tiempo estéril –como en el caso de "*p*, por tanto *p*"–, o no-válida y al mismo tiempo fecunda –como en el caso de muchas generalizaciones precipitadas, pero verosímiles, o el de la analogía en la ciencia. Del mismo modo que el llegar a una clase de conclusiones verdaderas no es un criterio de validez, así también la validez o corrección formal no garantiza la fecundidad de una argumentación: la validez y la fecundidad son propiedades independientes una de otra. El ideal es, desde luego, el combinar la fecundidad con el rigor, pero esto debe ser más una aspiración que una exigencia puesta desde el comienzo, pues ninguna línea de pensamiento podría acaso arrancar si se le impusieran severos criterios de rigor. Tenemos que apechugar con el hecho de que en todos los departamentos de la cultura se realizan y se necesitan a la vez inferencias válidas y no-válidas, el hecho de que la ciencia más austera puede engendrar hijos lógicamente ilegítimos que sería erróneo eliminar, pero

que tampoco es posible legitimar. Todo lo que podemos hacer es tener bajo control esos modos de inferencia, para la cual tenemos que estudiarlos en vez de despreciarlos. Primero engendrar, luego criar.

Del mismo modo que en la realidad encontramos dos clases de estructuras, a saber, leyes y tendencias, así también en la argumentación –ordinaria o científica– hallamos dos clases de estructuras: legal o válida (estructuras inferenciales deductivas) y cuasi-tendenciales o lógicamente no-válidas, pero a menudo fecundas, o sea, estructuras inferenciales no-deductivas, o inferencias incoadas. La inferencia válida, o sea, deductiva, es objeto de estudio por la lógica formal. Entre los tipos más corrientes de inferencia deductiva recordaremos la sustitución (el cambio de variables), la separación, o *modus ponens*, y la reyección, o *modus tollens*, la ejemplificación y la generalización –además de gran número de esquemas de inferencia específicos (no universales), como los que se usan en el cálculo aritmético. Cuando una inferencia válida parte de premisas que se consideran verdaderas o aceptadas por convención, la inferencia se llama una *demostración*. Es claro que no hay demostraciones de fórmulas factuales, por la sencilla razón de que ningún supuesto inicial de la ciencia factual puede tomarse como seguro: mientras que en la matemática las premisas convalidan (o justifican, o fundamentan) las conclusiones, en la ciencia factual son más bien las conclusiones las que suministran una convalidación o justificación parcial de las premisas. La "conclusión" que va de la conclusión propiamente dicha a las premisas no es concluyente en sentido lógico. Pero esa inferencia se da, es de varias clases y se le da con cierta confusión el ambiguo nombre de *inducción*. Echemos un vistazo a algunos de los esquemas más frecuentes de inferencia incoada o plausible. He aquí:

1. *Analogía sustantiva*: semejanza de componentes.

Esquema:

a es $P_1, P_2, ..., P_n$
b es $P_1, P_2, ..., P_{n-1}$

Es factible que b sea P_n

Ejemplo: Entre los animales el cáncer se debe frecuentemente a virus. El hombre es un animal. Por lo tanto, es factible que los virus sean frecuentemente la causa del cáncer humano.

2. *Analogía estructural*: semejanza de forma.

Esquema

Sistemas de forma (estructura o ley) muy semejante tienen frecuentemente en común otras propiedades.

a y b tienen la misma estructura (u "obedecen" a leyes de la misma forma)

Es factible que a y b tengan en común otras propiedades.

Ejemplo: La ecuación de movimiento de un sistema cuántico es matemáticamente

análoga a una ecuación ondulatoria clásica. Por tanto, es factible que la ecuación cuántica refiera a un movimiento ondulatorio.

3. *Inducción de primer grado*: de ejemplos a una generalización de nivel bajo.

Esquema

Todos los A hasta el n-ésimo han resultado ser B.

Es factible que todos los A sean B.

Ejemplo: Todos los valores medidos de la carga del electrón son los mismos (dentro de los márgenes del error experimental). Por tanto, es factible que todos los electrones tengan la misma carga.

4. *Inducción de segundo grado*: de generalizaciones de nivel bajo a generalizaciones de nivel más alto.

Esquema:

La ley L vale para todo conjunto S_i hasta el n-ésimo.

Es factible que la ley L valga para todo conjunto S_i.

Ejemplo: Las leyes básicas del aprendizaje valen para todas las especies estudiadas, Por tanto, es factible que valgan para todas las especies existentes.

5. *Generalización estadística*: inferencia de la muestra a la población.

Esquema

S es una muestra al azar de la población U.

El porcentaje observado de los P en la muestra S de la población U es p.

El porcentaje esperado de P es en U es aproximadamente p.

Ejemplo: En una muestra al azar de estudiantes universitarios que equivalía a la centésima parte de los estudiantes se halló que el 10% dominaba su lengua materna. Por tanto, es factible que el correspondiente porcentaje en la población total de estudiantes sea aproximadamente del 10 por ciento.

6. *Especificación estadística*: inferencia de la población a la muestra.

Esquema

El porcentaje observado de P es en la población U es p.

S es una muestra al azar de U.

El porcentaje esperado de P es en S es aproximadamente p.

Ejemplo: En las últimas elecciones el 80% de la nación votó a los laberales; por tanto, es factible que el 80% aproximadamente de la población de Medioburgo, que es bastante representativa, votara a los laberales.

7. *Modus ponens débil*: separación débil del consecuente con base en una afirmación débil del condicional o del antecedente.

Esquema 7a	*Esquema 7b*	*Esquema 7c*
Si *p*, entonces *q*	"Si *p*, entonces *q*" es verosímil	"Si *p*, entonces *q*" es verosímil
"*p*" es verosímil	*p*	"*p*" es verosímil
"*q*" es verosímil	"*q*" es verosímil	"*q*"es verosímil

Ejemplo: Es factible que un clima favorable haya favorecido el nacimiento de civilizaciones. España goza de un clima suave. Por tanto, es verosímil que en España naciera una civilización.

8. *Modus tollens débil*: recusación débil del antecedente con base en afirmación fuerte o débil del condicional y negación débil o fuerte del consecuente.

Esquema 8a	*Esquema 8b*	*Esquema 8c*
Si *p*, entonces *q*	"Si *p*, entonces *q*" es verosímil	"Si *p*, entonces *q*" es verosímil
"–*q*" es verosímil	–*q*	"–*q*" es verosímil
"–*p*" es verosímil	"–*p*" es verosímil	"–*p*" es verosímil

Ejemplo: Es factible que la ciencia sólo florezca en libertad. Ahora bien, en Dogmalandia no hay libertad. *Ergo*, es inverosímil que florezca la ciencia en Dogmalandia.

9. *Reducción fuerte*: afirmación débil del antecedente con base en afirmación del consecuente.

Esquema

Si *p*, entonces *q*
q

Es posible que "*p*" sea verdadero.

Ejemplo: Si una corriente eléctrica pasa cerca de una aguja magnética, ésta se desvía. Una determinada aguja magnética ha experimentado una desviación. Por tanto, es posible que exista una corriente eléctrica cerca de esa aguja.

10. *Reducción débil*: afirmación débil de antecedente con base en afirmación del consecuente y afirmación fuerte o débil del condicional

Esquema 10a	*Esquema 10b*	*Esquema 10c*
Si *p*, entonces *q*	"Si *p*, entonces *q*" es verosímil	"Si *p*, entonces *q*" es verosímil
"*q*" es verosímil	*q*	"*q*" es verosímil
Es posible que "*p*" sea verdadero	Es posible que "*p*" sea verdadero	Es posible que "*p*" sea verdadero

Ejemplo: Es posible que al aproximarse un cambio del tiempo atmosférico los peces den grandes saltos por encima del espejo de las aguas. Acaban de dar esos saltos algunos peces. Por tanto, es posible que vaya a cambiar el tiempo.

Ninguno de esos esquemas es una *regla* de inferencia ni puede convertirse en tal: ninguno de ellos permite ni prohíbe inferencias: son simplemente procedimentos *heurísticos* necesitados de control. Las conclusiones de las inferencias posibles no se siguen con certeza en cualquier caso: lo que se "sigue" es siempre una conjetura, y de modo mucho más suasorio que deductivo: por eso podría llamarse *lógica sugestiva* la lógica correspondiente a esas inferencias. Todo intento de santificar tales pecados está llamado a fracasar, porque la inferencia plausible depende de la naturaleza del caso, o sea, del contenido de la premisas, y no de su forma: es contingente y resulta imposible hacerla necesaria. La dependencia de la inferencia plausible respecto del contenido es lo que constituye su debilidad lógica y su fuerza heurística.

¿Qué lugar ocupan en la ciencia esos esquemas de inferencia plausible? La analogía sustantiva, la inducción de primer grado, la generalización estadística y la especificación estadística se presentan en la formulación de proposiciones de nivel bajo, tanto en el conocimiento ordinario cuanto en la ciencia. La analogía estructural da a veces lugar a la conjetura de hipótesis de nivel alto. Los demás esquemas, junto sobre todo con las formas de inferencia deductiva, la inducción de primer grado y la generalización estadística, se presentan en las inferencias practicadas para contrastar hipótesis y teorías. Es verdad que en nuestro ejemplo de inducción de primer grado aparecía un concepto teorético, a saber, "carga del electrón". Pero eso no hace sino ilustrar el hecho de que las leyes fundamentales no pueden obtenerse por inducción, y aún menos, naturalmente mediante salto directo a partir de proposiciones individuales que expresen datos empíricos: la mera medición de la carga del electrón requiere unas cuantas fórmulas teoréticas, incluida la hipótesis de nivel alto que afirma que hay unidades de carga eléctrica. No se trata sólo de que, de hecho, la analogía sustantiva, la inducción de primer grado y la generalización estadística no se presenten en la formación de hipótesis de nivel alto; se trata además de que les está vedado *de iure* escalar tales alturas, porque hay que contar con conceptos de nivel alto antes de que puedan presentarse en hipótesis de dicho nivel. Aparte de eso, las hipótesis de nivel alto que son enunciados universales no suelen surgir como generalizaciones laboriosas y paso a paso a partir de singularidades, sino que *nacen* ya como enunciados generales. La tarea de la inducción no consiste en engendrar tales generalidades, sino en tomar parte en su contrastación empírica, como veremos en la sec. 15.4.

La inducción, la generalización y la ejemplificación estadísticas, así como el *modus ponens* y el *modus tollens* débiles y la reducción, fuerte o débil, pueden ser arbitrarios o controlados. Así, por ejemplo, la generalización inductiva puede ser un salto libre a partir de una colección arbitraria o cualquiera (una muestra que no sea al azar) a un determinado universo, o bien puede restringirse mediante la teoría estadística. El *control estadístico* de una inferencia plausible consiste en construir deliberadamente una muestra al azar y representativa –por ejemplo, de datos– y en estimar la evidencia representada por esa muestra. La estadística matemática suministra criterios más o menos fundados de representatividad de las muestras y de la fiabilidad de las inferencias. En particular, la

estadística se ocupa de cuantificar el riesgo asumido al obtener "conclusiones" partiendo de datos empíricos y sin teoría, o sea, en el estadio protocientífico En los primeros estadios de una disciplina, la mayoría de las hipótesis se estiman casi exclusivamente con base en datos empíricos. Ahora bien: los resultados de esas estimaciones pueden deberse al azar: la hipótesis de casualidad no puede excluirse cuando no se conoce sino poco o nada acerca del mecanismo que produce esos efectos. La conjetura de que un conjunto de datos referentes a las variables controladas se debe a variables incontroladas se llama, como sabemos (cf. sec. 14.4), la *hipótesis nula*; la conjetura opuesta, según la cual los datos reflejan cambios de las variables controladas, es una entre varias hipótesis posibles contrarias a la nula. Si ninguna de las hipótesis en conflicto tiene un basamento teorético, el experimentador no puede basarse más que en sus datos. Ahora bien: si toma la decisión de rechazar la hipótesis nula, o sea, la decisión de aceptar alguna de las hipótesis según las cuales el efecto es real, el experimentador está sin duda asumiendo algunos riesgos. Y si esa decisión (la de rechazar la hipótesis nula) es errada, se dirá que el experimentador ha cometido un *error del tipo primero.* El correspondiente riesgo de cometer una tal inferencia errónea se llama *nivel de confianza*, y es un número, α, mucho menor que la unidad, por ejemplo, 0,05. La aceptación errónea de la hipótesis nula se llama *error del tipo segundo.* El riesgo correspondiente, β, se mide por otro número que es también mucho menor que la unidad. La elección de α y β, es cosa del experimentador: cuanto más severa sea una contrastación, tanto menores tendrán que ser α y β. (Desgraciadamente, esos números no pueden aprovecharse para definir el concepto de "dureza de una contrastación", porque la proposición recíproca es falsa.) En cualquier caso, la estadística suministra criterios de inferencia (plausible) respecto de la significación estadística de un conjunto de resultados empíricos y de la determinación del riesgo de obtener inferencias erradas. (Esos errores de inferencia no deben confundirse con errores de medición.) Pero ninguno de esos criterios *garantiza* la verdad de una generalización: son meros lastres que impiden dar saltos precipitados, no expedientes que garanticen saltos siempre afortunados. Así pues, la estadística no construye teorías ni las establece firmemente, sino que interviene en su contrastación; por tanto, la estadística pertenece a la metodología de la ciencia experimental y, consiguientemente, todo tratamiento detallado de la inferencia plausible tiene que ser compatible con la teoría estadística.

Pero hay que darse cuenta de que la importancia de la estadística en la proyección y la interpretación de las operaciones empíricas es inversa de la determinación y riqueza de las ideas que están en curso de contrastación. Una hipótesis cualitativa –como: El talento "depende" de la ejercitación anterior– exigirá un cuerpo de datos mucho más voluminoso y un examen estadístico del mismo mucho más complejo que, por ejemplo, una hipótesis cuantitativa que pueda contrastarse por simple medición. Si la misma hipótesis contrastada es fuerte, no necesitaremos concentrar el esfuerzo en la búsqueda de contraejemplos posibles, ni en el aumento indefinido de ejemplos confirmadores: bastarán unas pocas confirmaciones en puntos estratégicos para poner de manifiesto si vale la pena seguir investigando (no aceptar simplemente) la idea. Y si la hipótesis, además de ser precisa y fuerte, es sistemática, o sea, si está relacionada con otras hipótesis científicas, en vez de estar aislada, entonces su contrastabilidad aumenta todavía más, y, consiguientemente, puede disminuir el acervo de los datos directamente relevantes y la

complejidad de la elaboración de los mismos. Es más rentable imaginar hipótesis fuertes y explicitarlas y detallarlas y planear su contrastación que poner toda la esperanza en que las técnicas estadísticas o las calculadoras nos eximan del trabajo de pensar.

En conclusión: la ciencia de la inferencia no-deductiva no puede intentar convalidar o justificar unas inferencias que no son lógicamente válidas, o sea, no puede proponerse la consagración de esquemas del tipo tendencial en el estatus de leyes. En vez de imitar los pasos de la lógica deductiva debe discernir, analizar y criticar los esquemas o las estructuras de la inferencia no-deductiva, estudiar, con la ayuda de la estadística matemática, las condiciones en las cuales pueden disminuirse –no eliminarse– los riesgos de pasar a "conclusiones" erróneas, o sea, las condiciones en las cuales aquellas inferencias, aunque no sean concluyentes, son plausibles

Problemas

15.1.1. Examinar las diferencias entre una analogía y una argumentación por analogía, o sea, una inferencia analógica. En particular, discutir si un enunciado de homología –de la forma "*A* es a *B* como *C* es a *D*", o sea: "*A* : *B* : : *C* : *D*" –se presenta en la primera o en la última. *Problema en lugar de ése*: Examinar el papel desempeñado en la bioquímica moderna por la analogía de la cerradura y la llave, presente, por ejemplo, en conceptos como la reacción antígeno-anticuerpo y la relación molécula-receptividad olfativa.

15.1.2. Comentar la distinción aristotélica entre *argumentaciones apodícticas*, que parten de premisas verdaderas, y *argumentaciones dialécticas*, la cual usa premisas cuyo valor veritativo es desconocido. ¿Se utilizan en la ciencia esos modos de argumentación?

15.1.3. ¿A qué disciplina debe atribuirse el estudio de la inferencia plausible? ¿A la lógica formal, a la estadística o a la epistemología? ¿O requiere un planteamiento y un estudio interdisciplinarios?

15.1.4. La especificación y la generalización estadísticas son plausibles si lo que se ha tomado es una muestra al azar y si el tamaño de la muestra no es muy pequeño; porque si la muestra no es al azar o si su tamaño es muy reducido, pueden encontrarse marcadísimas oscilaciones alrededor de la frecuencia. (La condición de que el muestreo se haga al azar es más importante que el tamaño de la muestra.) ¿Es en esos casos perjudicial la inferencia, o puede a pesar de todo usarse sin más valor que el de una indicación preliminar? Recordar lo dicho en la sec. 9.5.

15.1.5. Estudiar el método de los intervalos de confianza o de seguridad que es aplicable a la generalización estadística (esquema 5 del texto). *Problema en lugar de ése:* Las ondas de luz, los átomos, los genes, los virus y otras entidades con alguna analogía con ésas se toman a menudo como si su existencia se hubiera inferido de observaciones, razón por la cual se las llama *entidades inferidas*. ¿Está justificado ese nombre en los casos citados?

15.1.6. ¿Es posible justificar o convalidar la inferencia plausible por el procedimiento de modelarla en algún patrón matemático, como es la teoría de la probabilidad? Véase el problema dado en segundo lugar en 5.1.3., y cf. W. Kneale, *Probability and Induction*, Oxford, Clarendon Press, 1949. *Problema en lugar de ése:* Los físicos no utilizan instrumentos estadísticos tan refinados como los que manejan psicólogos y sociólogos, para contrastar las hipótesis y las teorías físicas. Se ha dicho por ello que los físicos tendrían que ponerse en este aspecto a la altura de los científicos de la conducta. ¿Es justa esa exhortación?

15.1.7. Los sistemas de "lógica" inductiva hoy día existentes son juegos filosóficos no sugeridos ni usados por la investigación científica realmente practicada. Una razón explicativa de esa

circunstancia es que dichos sistemas no se aplican más que a generalizaciones aisladas, de nivel inferior, o sea, de interés científico escaso o, a lo sumo, a generalizaciones empíricas protocientíficas. ¿Qué teoría de la inferencia estadística utilizan realmente los científicos y técnicos, y cuáles son sus rasgos principales?

15.1.8. Es hoy día corriente que se tome una de las dos siguientes y extremas actitudes respecto de la inferencia plausible. Una de ellas consiste en considerar la inferencia plausible como un proceso psicológico y nada más, que no necesita más investigación lógica que la intuitiva y repentina iluminación de la imaginación intelectual; la otra actitud consiste en construir algún sistema a priori de lógica inductiva que imite los de la lógica deductiva. Examinar las dos actitudes y dictaminar acerca de si hay aún lugar para una actitud intermedia.

15.1.9. Si un predicado P es verdadero de un individuo cualquiera, x, entonces puede generalizarse válidamente para todo individuo (del mismo conjunto): $P(x) \vdash (x)P(x)$. ¿Es aplicable esa regla de inferencia a la ciencia factual? Si no lo es, ¿por qué? Y si en la fórmula anterior sustituimos la frase 'un individuo tomado al azar', ¿obtenemos un esquema de inferencia que sea adecuado para la ciencia factual? ¿Qué clase de esquema? ¿De inferencia válida o de inferencia plausible (heurística)?

15.1.10. Considerar el esquema de inferencia llamado *principio* (débil) *de inducción matemática*, o esquema de las demostraciones recursivas o por recursión. Sea $p_0, p_1, \ldots p_n, \ldots$ una secuencia numerable de proposiciones. El esquema es: $\{p_0, p_k \rightarrow p_{k+1}\} \vdash (n)p_n$. Cuestiones interesantes al respecto: ¿Se trata de un principio primitivo o puede deducirse? En particular: ¿es posible deducirlo de la lógica elemental (de enunciados) o es un principio matemático irreductible? ¿Qué tiene que ver con la inducción? ¿Podría aplicarse para establecer generalizaciones factuales no restringidas, o sea, enunciados de leyes, sobre la base del examen de casos individuales?

15.2. CONTRASTACIÓN DE PROPOSICIONES OBSERVACIONALES

Lógica y epistemológicamente, las proposiciones factuales más simples son las que refieren a hechos observables aislados, como "Esa cosa es negra." La contrastación de esas proposiciones no presentan ninguna dificultad metodológica, siempre que nos contentemos con el concepto cualitativo de negrura. Se presentarán problemas metodológicos si trabajamos con el concepto físico de negrura, no con el que es propio del sentido común, porque entonces eso exigirá mediciones de las radiaciones y absorciones relevantes para el cuerpo considerado. La proposición, aparentemente trivial e inocente, "Esta cosa es negra" puede, ciertamente, no plantear siquiera el problema de averiguar *cómo sabemos* su verdad (o falsedad), esto es, el problema que consiste en indicar los adecuados instrumentos conceptuales y materiales que nos permitan estimarla. Pero sí que plantea el problema de su *significado,* de lo que significa decir que la proposición es verdadera o falsa, y éste es un problema filosófico.

Los criterios veritativos se elaboran en las ciencias particulares según la naturaleza de cada caso. Pero no hay conjunto de criterios veritativos que pueda sustituir la dilucidación del concepto de verdad, por mucho que esos criterios puedan contribuir a la aclaración del concepto; del mismo modo ninguna prueba de acidez resuelve el problema de la significación del término 'ácido'. Sin duda diremos que una proposición observacional es verdadera si y sólo si *concuerda* con los hechos o expresa *adecuadamente* la situación

a la que refiere, o si *recoge* la observación efectiva. Pero ¿qué significa que una proposición recoge una entidad no-conceptual, como es un hecho? Esta adecuación, concordancia o encaje es metafórico: puede cortarse un traje para que encaje con un cuerpo, o una proposición para que implique otra: en esos casos comparamos objetos de la misma naturaleza, objetos que son ambos físicos o ambos conceptuales. Pero ¿cómo podemos comparar dos objetos heterogéneos como son una idea y un hecho? Podemos comparar x con y siempre que x e y tengan en común alguna propiedad, y precisamente aquella respecto de la cual se establece la comparación; así, por ejemplo, podemos decir que x es más largo que y si x e y tienen ambos longitud. Pero no podemos decir que una idea sea más negra que su referente, o que una cosa sea más verdadera que su idea. En cambio, sí que podemos *confrontar* una idea con su referente: pero también de un modo metafórico, porque lo que no podemos hacer es poner materialmente una enfrente de la otra en el espacio, pues las ideas no tienen existencia separada en el espacio físico.

*Las únicas comparaciones posibles, en el sentido estricto de la palabra 'comparación', serían las comparaciones entre un hecho y (*i*) el signo (forma física) que representa la proposición expresiva del hecho, o (*ii*) el proceso psicofisiológico que tiene lugar en nuestro cerebro cuando concebimos la proposición que "refleja" el hecho. En ambos casos se trata de relaciones entre objetos físicos. La primera comparación es posible, pero inútil, porque una misma proposición puede expresarse de infinitas maneras. La segunda comparación es deseable, y posible en principio en el caso de los hechos perceptibles. (Piénsese en el proceso fisiológico inducido primero en la retina y luego en la corteza cerebral por el paso de un amigo a través de nuestro campo visual.) Esa comparación puede mostrar el mecanismo por el cual se forman ideas verdaderas o falsas en respuesta a situaciones físicas y, a la inversa, las acciones que siguen a la formación de ciertas ideas. Una investigación así podría permitir la caracterización de la verdad como una determinada relación entre dos objetos físicos, un proceso cerebral y el correspondiente estado o situación en el exterior. Pero también sería inútil en el caso más interesante, que es el de las proposiciones no-observacionales, y no podría darnos una caracterización de la verdad como propiedad de *proposiciones* en ciertos contextos conceptuales, a menos que consiguiéramos caracterizar las proposiciones como meros procesos psicofisiológicos. Mientras ese programa siga en el estado en que está hoy –a saber: sin que se haya llevado a cabo ni se haya probado que es inviable–, lo mejor que podemos hacer es adoptar una especie de dualismo metodológico, considerar las ideas y los hechos como cosas heterogéneas y la verdad, consiguientemente, como una propiedad básica de las proposiciones (en determinados contextos), propiedad que no es ulteriormente analizable; pues un ulterior análisis del concepto de verdad consistiría en rellenar totalmente los hiatos existentes entre las ideas y sus referentes, tarea que por el momento está más allá de nuestras posibilidades (acaso porque hasta el momento no se ha planteado siquiera nunca con seriedad).*

Pero el hecho es que ni podemos esperar hasta que estén resueltas todas esas dificultades ni tampoco podemos prescindir del concepto de verdad, porque sin él carece de sentido la contrastación de ideas. Por tanto, adoptaremos aquí la decisión, meramente práctica y escandalosamente no-filosófica, de no analizar el concepto de verdad como propiedad de las proposiciones observacionales singulares, tomándolo como concepto primitivo con base en el cual puede analizarse la verdad de proposiciones más complejas

que ésas. Si, pues, fingimos saber lo que quiere decir que una determinada proposición referente a un deteminado hecho observable es verdadera, podemos preguntarnos por la verdad de las generalizaciones empíricas, tales como "Todos los pájaros de la ciudad son pájaros cantores." El valor veritativo de una tal *generalización limitada* podría establecerse fácilmente si ello nos interesara. Seguramente supondría la operación problemas técnicos, pero no, desde luego, problemas fundamentales; porque una generalización así no es más que una conjunción de un número finito de proposiciones observacionales singulares, y hemos convenido en fingir que sabemos en qué consiste la verdad de tales proposiciones.

Problemas más serios surgen en relación con las *generalizaciones ilimitadas*, como "Todos los sinsontes adultos cantan"; pero también en este caso los problemas son técnicos. Tomaríamos una muestra al azar de esos pájaros, observaríamos su comportamiento respecto del canto, calcularíamos las frecuencias de los sinsontes cantores en las diversas muestras, luego la frecuencia general, y saltaríamos de ahí a la conclusión plausible de que la ilimitada (pasada, presente y futura) población mundial de sinsontes tiene la propiedad indicada con tal frecuencia. O sea: podemos usar técnicas estadísticas bien conocidas, como el muestreo al azar, para controlar nuestras referencias. Esas técnicas no nos garantizan la verdad de nuestras "conclusiones" (afirmaciones puestas) con base en los datos observacionales, pero, por lo menos, nos permiten maximalizar el grado de verdad de nuestras generalizaciones y, llegado el caso, corregirlas.

Si deseáramos rebasar la convalidación empírica, o sea, si deseáramos obtener un enunciado de ley, y no una generalización empírica, tendríamos que intentar insertar el resultado en una teoría. Con ello podríamos explicar el mecanismo por el cual los sinsontes no pueden evitar cantar, y entonces, si consiguiéramos observar o producir un sinsonte mudo, podríamos contrastar dicha hipótesis acerca del mecanismo del canto. Si la hipótesis supera esa contrastación, terminaremos completando la inicial generalización empírica de un modo parecido al siguiente: "Todos los sinsontes adultos dotados de tales o cuales características bioquímicas, fisiológicas y ecológicas cantan." O sea, en ese caso podríamos explicar y, por tanto, entender la generalización. En cualquier caso, el problema del valor veritativo de las generalizaciones observacionales, limitadas o no, es en principio resoluble, aunque no de un modo definitivo, con la ayuda de la estadística y de la correspondiente teoría sustantiva.

Pero ya esas generalizaciones empíricas cualitativas suscitan un problema filosófico: el problema de la *verdad parcial*. Si hubiéramos supuesto inicialmente que todos los *A* son *B* y la experiencia nos mostrara que el 10% de los *A* no son *B*, no concluiríamos que "Todos los *A* son *B*" es un hipótesis simplemente falsa, sino más bien que es *parcialmente* falsa, o, como también puede decirse, que esa generalización es verdadera en tal o cual medida o grado. Además: podríamos tener la tentación de decir que su grado de verdad es 9/10, puesto que la hipótesis resulta verdadera en 9 de cada 10 casos o ejemplos. *Si hiciéramos eso, estaríamos admitiendo tácitamente que el valor veritativo de la conjunción de N proposiciones mutuamente compatibles e independientes es la media del valor veritativo de los varios mientos de la conjunción, o sea, que $V(e_1 \& e_2 \& \ldots \& e_N) = = (1/N) \Sigma_i V(e_i)$. Obsérvese que esa afirmación es cosa muy diversa de la probabilidad de la conjunción, la cual equivale al producto de las probabilidades de los miembros de la misma. Pueden proponerse otras fórmulas.*

El concepto de verdad parcial y, particularmente, el de verdad aproximada se usa de un modo explícito en relación con enunciados cuantitativos, y subyace a las varias técnicas y aproximaciones sucesivas. Así, por ejemplo, cuando estimamos el número de objetos de una determinada clase en una región atribuyéndole la dimensión 100 y luego resulta que el cómputo efectivo da 110, decimos que nuestra estimación contenía un error del 10%, o también que se desvió de la verdad en una fracción equivalente a 1/10. Podemos también decir que el supuesto inicial tenía un grado de verdad equivalente a 9/10. En resolución, el hecho es que tanto en la vida cotidiana cuanto en la ciencia, e igual en la ciencia pura que en la aplicada, utilizamos el concepto de verdad parcial y a veces llegamos a cuantificarlo. Sólo los lógicos siguen oponiéndose a la idea de verdad parcial, razón por la cual usan en realidad un concepto intuitivo y presistemático de la misma.

La contrastación de las proposiciones observacionales derivadas con la ayuda de teorías científicas plantea problemas especiales; esos problemas son más sencillos en un respecto y más complejos en otro. La contrastación de una proposición de nivel bajo, como una predicción, es más simple que la de una proposición no teorética, en el sentido de que la primera se reduce a la confrontación de dos objetos de la misma clase: la proposición contrastada, *t*, y la correspondiente evidencia empírica, la cual es otra proposición, *e* (cf. fig. 15.1). No habría ninguna dificultad si *t* y *e* fueran o pudieran hacerse idénticas. Pero no lo son nunca, y eso es una fuente de complejidad. De hecho, y según hemos visto repetidas veces, el referente de una teoría no coincide con la evidencia relevante para ella.

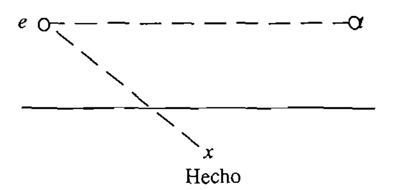


FIGURA 15.1. Contrastación: confrontación con un hecho en el caso de un enunciado no teorético, *e*, y contrastación con otra proposición en el caso de un enunciado teorético, *t*.

Tomemos, por mayor concreción, el caso de una predicción cuantitativa referente a una propiedad directamente observable, *P*, predicción que contrastamos o ponemos a prueba por medio de una serie de mediciones. Supongamos que predecimos un determinado valor, *n*, en unidades *u*, de la propiedad *P* en una cosa *c* que se encuentra en un estado determinado, y que, por medición, obtenemos un valor algo diferente, *n'*, con un margen de error igual a σ:

$$t = [P(c,u,) = n] \qquad [15.1]$$
$$e = [\bar{m}\, P(\dot{c},u) = n' \pm \sigma] \qquad [15.2]$$

siendo $\bar{m}\, P(\dot{c},u)$ el valor medido medio de la propiedad *P* del objeto real $\dot{c}$. Esas dos proposiciones son diferentes incluso en el caso, infrecuente, de que coincidan los valores numéricos, o sea, incluso en el caso $n' = n$ y $\sigma = 0$. Efectivamente: (*i*) la proposición teorética *t* refiere de modo inmediato a un sistema más o menos idealizado, *c*, mientras que la proposición empírica *e* se refiere a un sistema real, $\dot{c}$ que se supone representado

por *c* (cf. sec. 8.4); (*ii*) la proposición empírica contiene los conceptos de valor medido y de promedio, que no aparecen en la proposición teorética. (Habría otra diferencia más si la proposición teorética contuviera un error teorético introducido por alguna hipótesis simplificadora.) Si nos detuviéramos en este punto, tendríamos que concluir que ninguna operación empírica, por precisa que sea, podría nunca confirmar ni refutar una predicción teorética. Pero si hiciéramos eso tendríamos que condenar la teorización, la experiencia o ambas.

La dificultad descrita se resuelve en cuanto se abandona la caprichosa doctrina de que las teorías científicas implican proposiciones observacionales y se reconoce el hiato existente entre las proposiciones teoréticas y las empíricas, salvándolo por medio de la siguiente *Convención*: Una proposición teorética cuantitativa tiene el mismo valor veritativo que la correspondiente proposición empírica si y sólo si ambas coinciden hasta el margen de error experimental, o sea, si la diferencia entre los correspondientes valores numéricos no es mayor que el error *estándar*. Esta convención, que es de naturaleza epistemológica más que lógica, puede considerarse como dilucidación del concepto de *equivalencia epistémica* entre proposiciones que formal y semánticamente no se equivalen. De hecho, y para el caso de las proposiciones cuantitativas [15.1] y [15.2], la anterior convención puede parafrasearse en forma de definición, a saber:

$$t \text{ Eq } e =_{\text{df}} |n - n'| < \sigma \qquad [15.3]$$

Si ése no es el caso –o sea, si $|n - n'| \geq \sigma$–, "inferimos" que *e* no es epistémicamente equivalente a *t*.

Las discrepancias entre los valores medidos y los valores calculados resulta significativa si rebasa el error experimental. Ese exceso puede considerarse medida de las diferencias de valor veritativo entre los resultados empíricos y los teoréticos, pero, hasta el momento, no disponemos de ninguna teoría de la verdad parcial que sea razonablemente aceptada. Por eso lo que suele hacerse es indicar las diferencias e "inferir" alguna de las siguientes "conclusiones" cualitativas:

1. *La evidencia disponible es favorable a la predicción (e apoya a t).*
2. *La evidencia disponible es desfavorable a la predicción (e debilita t).*
3. *La evidencia disponible es inconcluyente respecto de la predicción (e es neutral respecto de t).*

Cualquiera de las dos primeras conclusiones se califica a su vez de los siguientes modos: "*e* suministra una confirmación fuerte (débil) de *t*", o "*e* suministra una desconfirmación fuerte (débil) de *t*".

En cualquier caso, lo que se llama *inferencia científica* –para distinguirla de la inferencia deductiva– es precisamente la elaboración de estimaciones de ese tipo respecto del peso de la evidencia empírica relevante para ciertas proposiciones. Suele hablarse a este respecto de "obtención de conclusiones" a partir de los datos empíricos, pero la expresión es incorrecta: sólo la deducción estricta puede "obtener" o "extraer" conclusiones a partir de premisas. No menos incorrecto sería decir que cualquiera de las tres "con-

clusiones" cuyos tipos se acaban de reseñar es una *decisión*: son simplemente *estimaciones*, y, como tales, pueden suministrar bases para la decisión (provisional) de aceptar *t*, rechazar *t* o dejarlo sin decidir. Lo que se discute en la inferencia científica es (*i*) la *confrontación* de dos conjuntos de proposiciones, uno por lo menos de los cuales es empírico, y (*ii*) la formulación de un *tercer* conjunto de proposiciones (en realidad, metaenunciados) referentes al valor veritativo de uno de los conjuntos dados basándose en el otro. Los enunciados de estimación (o sea, los del tercer conjunto) se construyen con la ayuda de convenciones no-lógicas vagamente formuladas, como la que se refiere a las proposiciones epistémicamente equivalentes, y rara vez se consideran más concluyentes que los enunciados acerca de los cuales "concluyen".

Según todo lo dicho puede haber cuatro clases de problemas sobre la estimación de las proposiciones observacionales: (*i*) estimación de las proposiciones teoréticas calibrándolas por medio de proposiciones empíricas; (*ii*) contrastación de las proposiciones empíricas (relativas, por ejemplo, a un nuevo aparato) sobre la base de las predicciones derivadas con la ayuda de una teoría; (*iii*) confrontación de dos conjuntos de datos empíricos, uno de los cuales está de algún modo mejor o más sólidamente sostenido que el otro; (*iv*) confrontación de dos fórmulas teoréticas una de las cuales se toma por alguna razón como línea de base. Esas cuatro posibilidades se muestran diagramáticamente en la figura 15.2.

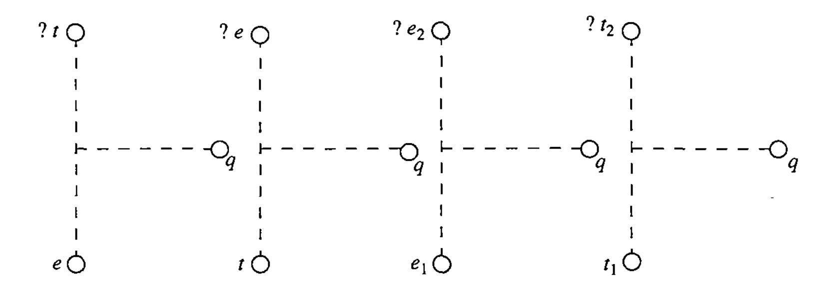


FIGURA 15.2. Las "conclusiones" *q* se "obtienen" de la confrontación de dos conjuntos de proposiciones, uno de los cuales se supone verdadero. Las líneas punteadas no simbolizan relaciones u operaciones lógicas (deductivas).

El esquema de inferencia es aún más complejo en el caso de los enunciados trasobservacionales (hipótesis); en este caso las *t* serán consecuencias contrastables de las hipótesis, de tal modo que el nuevo esquema absorberá el anterior, el cual se mantendrá fundamental. Echemos un vistazo a la lógica de la contrastación de hipótesis.

Problemas

15.2.1. Examinar el artículo de R. Carnap "Truth and Confirmation" (1936) reimpreso en H. Feigl y W. Sellars (eds.), *Readings in Philosophical Analysis*, Nueva York, Appleton-Century Crofts, 1949.

15.2.2. Supongamos que estamos conduciendo un coche en un día de lluvia y que la lluvia parece caer oblicuamente. Sabemos que esa apariencia puede ser resultado de dos movimientos respectivamente perpendiculares respecto del suelo. ¿Cómo procederíamos a inferir la realidad de la apariencia? Recordar que los astrónomos corrigen sus observaciones para tener en cuenta la aberración de la luz, que es un efecto parecido al descrito.

15.2.3. Enumerar y ejemplificar posibles fuentes de discordancia entre las predicciones teoréticas y los resultados empíricos relevantes para las mismas. Cf., por ejemplo, M. Bunge, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana, 1997, sec. 12.4.3.

15.2.4. Comparar cualquier enunciado teorético con un elemento de evidencia empírica que sea relevante para él, y precisar las diferencias entre las dos proposiciones. Luego examinar la opinión positivista sobre la inferencia científica, según la cual el esquema de ésta (equiparada con la inducción) sería: (*i*) formular la hipótesis "$h \to e_i$"; (*ii*) contrastar para varias e_i; (*iii*) atribuir un valor veritativo a h.

15.2.5. ¿Cuáles son las diferencias, si las hay, entre los enunciados siguientes?: (*i*) El individuo c tiene la propiedad P. (*ii*) Supongamos que el individuo c tiene la propiedad P. (*iii*) La proposición "El individuo c tiene la propiedad P" es verdadera. (*iv*) La proposición "El individuo c tiene la propiedad P" posee un alto grado de confirmación. (*v*) La proposición "El individuo c tiene la propiedad P" es verdadera si ,y sólo si, cuando c se somete a la prueba T, presenta el comportamiento B.

15.2.6. ¿Debemos aceptar la afirmación de que predicciones teoréticas y datos empíricos concuerdan (o discrepan) basándonos solamente en la autoridad de quienes la pronuncian? Cf. T. S. Kuhn, "The Function of Measurement in Modern Physical Science", *Isis*, 52, Pt. 2, 161, 1961, pp. 165-166.

15.2.7. ¿Hay alguna diferencia entre la verdad y la credibilidad? ¿Y puede ser la credibilidad un sustituto de la verdad?

15.2.8. Examinar la dilucidación por Tarski del concepto clásico de verdad como adecuación al hecho. ¿Se aplica esa dilucidación sólo en las teorías formalizadas? ¿Se aplica a hipótesis científicas, esto es, a enunciados que no se confronten directamente con cuestiones de hecho, aunque refieran a ellas? ¿Se aplica a sistemas de hipótesis, o sea, a teorías? Cf. A. Tarski, "The Semantic Conception of Truth", *Philosophy and Phenomenological Research, 4*, 341, 1944, reimpreso en el volumen citado en el problema 15.2.1.

15.2.9. Mostrar si el método de aproximaciones sucesivas supone el concepto de verdad parcial y el de secuencia de enunciados que se aproximan a la verdad. Cf. W. S. Jevons, *The Principles of Science*, 2a. ed., 1877; Nueva York, Dover Publications, 1958, cap. XXI y cualquier estudio sobre análisis numérico. Recuérdese la sec. 1.3.

15.2.10. Esbozar una teoría de la verdad parcial. Sugerencia: considerar el problema de la atribución de un valor veritativo a un compuesto proposicional de dos miembros, como p & q, dados los valores veritativos de los componentes. Tener en cuenta que las fórmulas resultantes tienen que incluir el caso especial de la verdad total y el de la falsedad total, de tal modo que, en particular, tienen que dar $V(p \vee -p) = 1$ y $V(p \mathbin{\&} -p) = 0$.

15.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Hasta el momento nos hemos ocupado de las proposiciones *directamente* contrastables, o sea, de los enunciados cuya contrastación no depende de los resultados obtenidos de la

contrastación de otras proposiciones. Todas las proposiciones singulares y existenciales en las que no aparecen más que predicados observacionales son directamente contrastables. Todos los demás enunciados factuales son *indirectamente* contrastables, o sea, su contrastación supone la puesta a prueba empírica de otras proposiciones. Por ejemplo: mientras que "La aguja de este amperímetro ha sufrido una desviación" es directamente contrastable por inspección visual, la contrastación de "Este amperímetro indica que está circulando por el circuito una corriente de 10 amperios" requiere no sólo la inspección del aparato, sino también la aceptación de la ley que relaciona la inflexión de la aguja con la intensidad de la corriente, ley incorporada al plano del instrumento y al código o cifrado que regula su uso. Todas las hipótesis son indirectamente contrastables, puesto que, por definición, contienen conceptos no-observacionales. Además, son *incompletamente* contrastables por la experiencia, porque, también por definición, la rebasan (cf. sec. 5.1).

Supongamos que deseemos contrastar la suposición de que un determinado objeto es de oro. A primera vista, la afirmación parece una proposición observacional, pero si recordamos lo fácilmente que se nos puede engañar con buenas imitaciones del oro, nos daremos cuenta de que se trata propiamente de una hipótesis: "amarillo", "brillante" y "pesado" son conceptos observacionales, pero "de oro" o "áureo" no lo es, o, por lo menos, no lo es hoy día. La proposición "Esto es de oro" es, pues, una hipótesis singular. La contrastación más simple a que podemos someterla consiste en echar a la cosa un ácido adecuado, *agua* regia, y ver qué pasa. La hipótesis subyacente a esa contrastación es que las cosas de oro se disuelven con ese tratamiento. La inferencia será, pues, el siguiente caso de reducción débil (cf. el esquema 9 de la sec. 15.1): Si una cosa es de oro, el agua regia la disuelve; el agua regia ha disuelto esta cosa; por tanto, es posible que esta cosa sea de oro. Ahora bien: el agua regia puede disolver otras muchas cosas además del oro: para que una cosa se disuelva en agua regia es suficiente, pero no necesario, que sea de oro. Si fuera necesario, la premisa mayor de la inferencia sería: "Si el agua regia disuelve una cosa, entonces esa cosa es de oro", y la argumentación cumpliría la forma válida del *modus ponens.* Pero, tal como está, el razonamiento es la forma más corriente de falacia lógica. No obstante, aunque no tiene ningún valor lógico-formal, da alguna indicación y es por tanto estimable cognoscitivamente, siempre que tengamos presente que no concluye. Una vez aplicada la técnica del agua regia y mostrado la posibilidad de que la cosa sea de oro, podemos preocuparnos por técnicas más complejas y potentes, como el análisis de los productos de reacción, el análisis de la estructura cristalina con la ayuda de los rayos X, o incluso la determinación del número atómico de la sustancia. En cambio, si la prueba con el agua regia ha dado un resultado negativo, nuestra inferencia habrá sido una conclusión propiamente dicha: podremos afirmar categóricamente que la cosa en cuestión no es de oro, y la afirmación será lógicamente válida. Efectivamente, nuestra inferencia cumpliría en este caso el esquema del *modus tollens:* Si de oro, disuelta; no disuelta; luego no de oro. En resumen: la contrastación empírica de una hipótesis supone (*i*) la aceptación o el uso hipotético de *otras* hipótesis, y (*ii*) el uso de esquemas de inferencia concluyente y/o incoada o plausible.

Algunas hipótesis son menos directamente contrastables que otras, o sea, su contrastación supone una cadena de proposiciones más larga. Tomemos, por ejemplo, la ley galileana de inercia, de la que a menudo (y equivocadamente) se supone que es una genera-

lización inductiva a partir de la observación. No hay experimento que pueda contrastarla directamente, puesto que ninguna región del universo satisface exactamente el antecedente de la ley, a saber, la ausencia completa de fuerzas. Lo que muestran los experimentos e incluso la observación ordinaria es una determinada disminución de la aceleración a medida que se debilitan las influencias externas: de eso saltamos a la "conclusión" de que si la fuerza es cero, la aceleración es también cero, hipótesis que no puede llevarse a ninguna contrastación empírica. Pero aun en el caso de que no dispusiéramos de las aludidas evidencias indirectas aceptaríamos la ley de inercia en el dominio de la mecánica clásica porque queda indirectamente corroborada por toda aplicación con éxito de la mecánica newtoniana, parte de la cual es la ley de Galileo.

*O tomemos la ley relativista relativa a la caída libre de un cuerpo en un campo gravitatorio constante: cf. fig. 15.3. En el momento de escribir estas líneas, esta ley no parece estar suficientemente sometida a contrastación empírica, mientras que la correspondiente ley clásica se ha confirmado satisfactoriamente decenas de miles de veces. Pero admitimos que la ley relativista es más verdadera que la correspondiente ley clásica por-

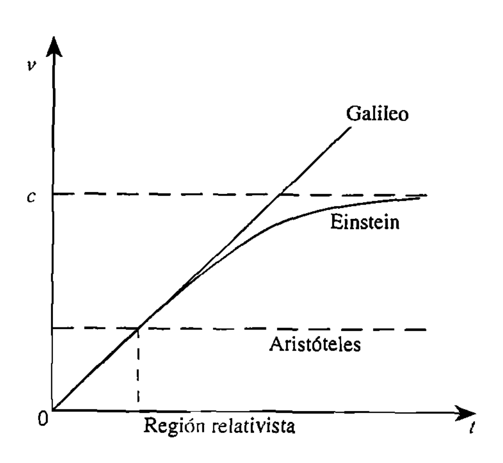


FIGURA 15.3. Cuerpo en caída libre. Ley clásica: $v = gt$. Ley relativista:

$$v = gt/(1 + \frac{g^2t^2}{c^2})^{1/2}.$$

La ley de Einstein se reduce a la de Galileo para $gt \ll c$, o sea para duraciones pequeñas y/o campos gravitatorios débiles. En el extremo límite relativista (ignorado por Aristóteles), la ley de Einstein resulta coincidir con la aristotélica.

que es una entre muchas consecuencias lógicas de los principios contrastados mediante el examen de otras consecuencias lógicas. O sea, la ley relativista tiene el apoyo indirecto de todas las hipótesis con las que está lógicamente relacionada (incluida la electrodinámica clásica) y que han superado satisfactoriamente la contrastación empírica: Además: cuando se estima el grado de verdad de la ley galileana se toma la de Einstein como línea de base (cuarto caso de la fig. 15.2). Dicho de otro modo: calculamos el error de la ley galileana (directamente contrastada) respecto de la de Einstein (sin contrastar directamente):

$$\varepsilon\,(G \mid E) = \mid E - G \mid / E = \mid 1 - (1 + \frac{g^2t^2}{c^2})^{1/2} \mid,$$

y por tanto, el valor veritativo de la ley de Galileo respecto de la de Einstein puede indicarse por:

$$V(G \mid E) = 1 - \varepsilon = 1 - \mid (1 + \frac{g^2 t^2}{c^2})^{1/2} - 1 \mid \cong 1 - \frac{1}{2} (g^2 t^2/c^2)$$

Inferimos entonces que nuestra limitada experiencia a propósito de cuerpos en caída libre es un error del orden v^2/c^2, despreciable, en efecto, por lo que hace a la experiencia ordinaria. En resumen: a veces corregimos experiencias gracias a teorías contrastadas en otras áreas. La contrastabilidad directa no tiene ningún mérito especial para la atribución de valores veritativos en la ciencia.*

Por tanto, una hipótesis científica es *empíricamente contrastable* si implica enunciados directamente contrastables o está implicada por hipótesis de nivel superior que tienen consecuencias contrastables independientemente: cf. figura 5.6. Se dice que la hipótesis es más directamente contrastable en el primer caso que en el segundo. Pero en ninguno de los dos se reduce la contrastación a una confrontación directa de las hipótesis con un conjunto de datos. O sea, a pesar de la doctrina dominante, oficial, el hecho es que nunca tenemos $h \rightarrow e$ y e, sino más bien $h \rightarrow t$ y e, siendo t una proposición directamente contrastable, pero no observacional, o sea, una proposición que, sometida a ciertas modificaciones, puede contrastarse con un informe empírico. Esta confrontación requiere la traducción previa de t y e a un lenguaje común, semiteorético y semiempírico, como se muestra en la figura 8.15 de la sección 8.4. (Recuérdese también la discusión hecha al final de la sec. 8.1.) Este intrincado proceso se resume en la figura 15.4, en la que 't^*' y 'e^*' representan las traducciones de t y e, respectivamente, a un lenguaje semiteorético y semiempírico, traducción que posibilita su comparación. En resumen, la contrastación de las hipótesis es muy indirecta. Insistamos en este punto.

Podemos contrastar la hipótesis de que una determinada persona está mentalmente ausente, porque una persona así no reacciona a pequeños cambios del medio ambiente

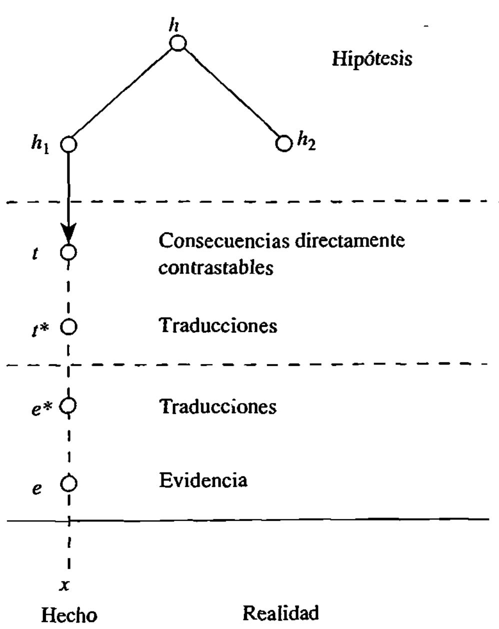


FIGURA 15.4. Contrastabilidad empírica: h_1 es más directamente contrastable que h_2, la cual tiene el apoyo indirecto de la evidencia e, relevante para h_1. Pero e es relevante para h_1 a través y por medio de su refinado e^*, comparable con la traducción t^* de la consecuencia t de h_1.

que normalmente perciben otras personas despiertas y alertas, o, por lo menos, porque suponemos que eso es verdad. Si nuestro sujeto responde a tales cambios, podemos inferir (por *modus tollens)* que no estaba mentalmente ausente. En cambio, si parece no darse cuenta de ellos, podemos presumir (por reducción) que de hecho está mentalmente ausente, aunque, en realidad, puede que sea sordo, o ciego, o incluso que esté simulando o muerto. No hay hipótesis que sea por sí misma contrastable: para que pueda someterse a una contrastación empírica, la hipótesis tiene que poseer consecuencias observacionales, las cuales se derivan con la ayuda de algún cuerpo de conocimiento que no se discute en la contrastación misma: recuérdese nuestra discusión al respecto en la sección 5.2. Más precisamente: para contrastar una hipótesis tenemos que hacer la *ulterior* suposición de que, si la hipótesis es verdadera, serán perceptibles ciertos hechos, los cuales se considerarán manifestaciones, objetivaciones o índices de la situación que refiere la hipótesis. (Cf. la relación inobservable-índice, discutida en la sec. 12.3.) Esta ulterior hipótesis se construye, sin duda, con la ayuda del cuerpo del conocimiento previo y, en particular, con la ayuda de alguna teoría. En este primer sentido es indirecta la contrastación empírica de las teorías científicas.

Otro sentido en el cual la contrastación de las hipótesis y las teorías científicas es indirecta consiste en que esas construcciones no refieren a experiencias reales, sino a modelos o aspectos idealizados: contienen conceptos teoréticos sin contrapartida exacta en la realidad, y aún menos en la experiencia humana. (No puede sorprendernos que también este otro elemento de mediatez, de ausencia de inmediatez o de vía directa, se pase por alto en el tratamiento habitual del problema, porque ese tratamiento suele limitarse a las generalizaciones empíricas no científicas, razón por la cual pone el acento en la generalidad y desprecia el problema del referente.) Una ilustración sencilla, pero reveladora, de este punto se tiene en cualquier teoría que prediga la probabilidad de que una partícula puntual [o sea, una construcción] se encuentre en algún lugar de una línea recta [que también es una construcción]. Como hay infinitos puntos en cualquier segmento, habrá una infinitud de valores de probabilidad, y su conjunto constituirá una distribución probabilitaria como, por ejemplo, la de la fig. 15.5 (*i*). Nuestra hipótesis (la proyección

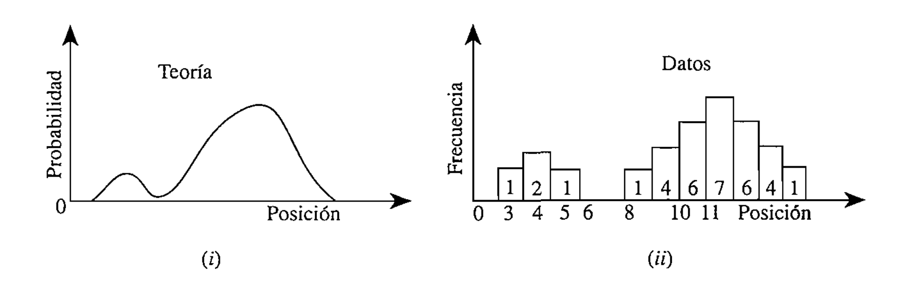


FIGURA 15.5. Comparación de la predicción probabilística con resultados empíricos (caso imaginario), (*i*) La distribución probabilística continua de la posición. (*ii*) La distribución discontinua de frecuencias de posición. El número de corpúsculos hallados en cada intervalo de posición se indica junto a la base del rectángulo correspondiente; así, entre las 10 y las 11 unidades de longitud a partir del origen se han hallado seis partículas.

de la teoría) contendrá, pues, las siguientes instrucciones: "partícula puntual", "conjunto infinito de posiciones de una partícula puntual", y "distribución probabilística". Por otro lado, en el experimento tratamos con corpúsculos (o paquetes de ondas), y no con entidades inextensas; nos ocuparemos de un conjunto finito de mediciones de posición y de un histograma, no de una curva continua de distribución (cf. fig. 15.5 [*ii*]). La distribución de frecuencias empíricamente hallada y la distribución probabilística teoréticamente calculada están separadas por un hiato insuperable: ninguna adición de datos puede hacer el milagro de convertir corpúsculos en partículas puntuales, conjuntos finitos en conjuntos infinitos, histogramas en funciones continuas. Tenemos que recoger esos hiatos entre la teoría y la experiencia y aprender a establecer las correspondencias adecuadas entre ellas, en vez de ignorar las diferencias o intentar reducir construcciones a datos.

El esquema general de la contrastación de hipótesis puede resumirse del siguiente modo:

1. *Conocimiento previo*, A, que no se pone en tela de juicio en la investigación en curso y que da origen a la hipótesis h, la contrastada.	A
2. *Problema*: ¿Es h verdadera?	$?h$
3. *Hipótesis adicional* (hipótesis de contrastación): De A y h se deriva: "Si h, entonces t". Salvo en el caso de que t se derive de A sólo, el condicional $h \rightarrow t$ tendrá que someterse a otra contrastación independiente.	$h \rightarrow t$
4. *Traducción de t por t**, por ejemplo, la operación de referir posiciones planetarias calculadas en el marco de referencia del Sol al marco de referencia de la Tierra.	t^*
5. *Experiencia*: contrastar t^*, o sea, hallar un conjunto de datos e comparables con t^*	e
6. *Traducción de e por e**, por ejemplo, expresar las lecturas de las posiciones de planetas con coordenadas geocéntricas.	e^*
7. *Comparar t* con e** y decidir si son epistémicamente equivalentes o no; si lo son, afirmar t^*, si no, negar t^*.	
8. *Inferencia sobre h*: si se ha confirmado t^*, declarar que h tiene el apoyo de t; si no, inferir que h queda debilitada por t.	

El paso 3, o sea, la introducción de la nueva hipótesis "$h \rightarrow t$" que nos permite contactar con la experiencia, puede no ser nada obvio: puede ser falso que t sea relevante para h o, por lo menos, que h sea suficiente para t. En cualquier caso, la nueva hipótesis "$h \rightarrow t$" no es lo que se pone en tela de juicio cuando se contrasta h, sino que, muy al contrario, la contrastación se planea y realiza sobre la base de "$h \rightarrow t$". Pero puesto que se supone que esa hipótesis accesoria es una hipótesis científica, hay que hallar un soporte independiente de la misma: no sólo tiene que fundarse en el conocimiento previo o antecedente (paso 1), sino que, además, debe ser posible someterla a una contrastación empírica independiente. O sea, $h \rightarrow t$ debe implicar alguna otra proposición independiente, t', que pueda contrastarse con otra técnica; si no, la situación no será mucho más sólida

que la de los *tests* proyectivos. Esta contrastación independiente aplicada a la hipótesis-puente "$h \rightarrow t$" planteará nuevos problemas metodológicos, pero no nuevos problemas lógicos. Por tanto, podemos volver a nuestra cuestión inicial, la "consecución de conclusiones" a partir de los datos tomados para contrastar hipótesis científicas.

Empecemos por repasar lo que la lógica deductiva puede decir al respecto. La lógica contiene tres reglas de inferencia elementales que afectan a $h \rightarrow t$ y t. Primera: t, *luego* $h \rightarrow t$, siendo h una proposición cualquiera. Este esquema de inferencia no lleva a ninguna parte precisamente porque h es una proposición cualquiera. No sirve sino para recordar que, dado t, la lógica permite una infinidad de hipótesis que impliquen t, lo que quiere decir que no puede practicarse ninguna inferencia segura de consecuentes solos, t, a antecedentes, h. Segunda: h y $h \rightarrow t$, *luego* t (*modus ponens*). Este central esquema de inferencia es de suma importancia en la ciencia formal, en la cual es lícito afirmar *ex hypothesi* todo lo que esté exento de contradicción con tal de que prometa ser fecundo. También se presenta en la contrastación indirecta de las hipótesis factuales: así, en el caso de la fig. 15.4, si por alguna razón nos decidimos a afirmar que la hipótesis de nivel más alto, h, es verdadera, entonces podemos separar (obtener por *modus ponens*) h_2, porque ya antes habíamos supuesto o demostrado que h implica h_2. Pero el *modus ponens* carece de utilidad para la rama de la izquierda de la fig. 15.4, o sea, para la contrastación empírica de hipótesis, porque nuestro problema consiste en averiguar el valor veritativo de nuestra afirmación h sin más fundamento que el valor veritativo de un enunciado implicado por ella, lo cual, como se ha mostrado por la anterior regla de inferencia, es una indicación bastante pobre. Tercera: $-t$ y $h \rightarrow t$, *luego* $-h$ (*modus tollens*). Esta forma de argumentación (variante de la primera) es útil en todos los casos de inferencia científica, porque sirve para eliminar hipótesis falsas, en la medida al menos en que podemos negar categóricamente el consecuente con base en información empírica.

La conclusión es clara: la lógica deductiva, aunque es un poderoso instrumento para la explicitación de supuestos iniciales y la obtención de todas las consecuencias contrastables que aquéllos puedan implicar, es impotente para convalidar los supuestos iniciales mismos; sólo ayuda a mostrar cuáles de ellos son falsos. En resumen: en la medida en que hay proposiciones empíricas categóricamente afirmables, éstas pueden *refutar* hipótesis, pero no pueden refutarlas concluyentemente. La única indicación positiva que puede darnos la información empírica es que la hipótesis de que se trate *puede* no ser falsa. (Recuérdese el esquema 9 de la sec. 15.1.) Esto debe bastar para eliminar la creencia en que el progreso del conocimiento consiste en amontonar "hechos positivos" (datos) sin prestar atención a las falsedades, y que puede construirse la ciencia sobre los datos empíricos sin más. Pero ¿qué puede hacerse además de criticar? Esa pregunta tiene varias salidas. Una consiste en declarar que la búsqueda de la verdad en la ciencia carece de interés. Otra es proponer que, puesto que sólo la falsedad puede averiguarse de un modo concluyente sobre una base empírica, la base empírica es siempre insuficiente y debe complementarse con contrastaciones no-empíricas. Y una tercera posibilidad consiste en decir que, puesto que la lógica deductiva es insuficiente, necesitamos otra clase de lógica, la lógica inductiva, para establecer esquemas de inferencia no-deductiva. Echemos un vistazo a las tres propuestas.

Son varias las razones por las cuales se ha sostenido que la búsqueda de la verdad

factual carece de interés; he aquí algunas: (*i*) las limitaciones insuperables del hombre, (*ii*) la contingencia (falta de necesidad lógica) de las proposiciones experienciales, y (*iii*) la inutilidad de la verdad comparada con la eficacia práctica o hasta la credibilidad. No se negará, ciertamente, que el conocimiento humano es limitado; pero tampoco puede afirmarse que todos los límites del conocimiento humano sean *fijos*; al fin y al cabo, resulta que entre nuestras limitaciones tenemos que incluir la incapacidad de limitar esos límites con claridad y definitivamente. También es innegable que las proposiciones de experiencia no son lógicamente necesarias y que, por consiguiente, son falibles; pero de eso no se sigue que sean todas *igualmente* inútiles: es seguro que unas son más falsas que otras, y a menudo alcanzamos verdades aproximadas, o sea, proposiciones que son "prácticamente verdaderas". Por último, el que las ideas funcionen útilmente o no y el que sean unánimemente creídas, o admitidas al menos por algunos especialistas, es del todo irrelevante para su verdad. Las ideas falsas pueden funcionar en la práctica, e ideas verdaderas pueden no hacerlo (sec. 11.1); y es frecuente que se mantengan hipótesis falsas porque se las crea verdaderas. En conclusión: esos argumentos no son válidos contra la búsqueda de la verdad objetiva.

La segunda propuesta consistía en considerar las contrastaciones empíricas como insuficientes, con la sugerencia consiguiente de intentar complementarlas con criterios no empíricos. Éste fue en realidad el punto de vista adoptado en la sec. 5.5, cuando se exigió que las hipótesis científicas fueran no sólo contrastables, sino también fundadas en parte del conocimiento. La idea de que hay que someter las hipótesis científicas a tales constrastaciones no-empíricas, además de a las empíricas, se debe a (*i*) la multiplicidad de hipótesis compatibles con cualquier conjunto dado de información empírica y a (*ii*) la dependencia de las contrastaciones empíricas respecto de hipótesis y teorías concurrentes. En la última sección se argüirá que para estimar las pretensiones de verdad de las ideas científicas se utiliza una entera batería de contrastaciones no-empíricas. Pero esas contrastaciones no-empíricas no pueden *establecer* hipótesis científicas, igual que tampoco las contrastaciones empíricas pueden convalidarlas concluyentemente: un gran número de contrastaciones con éxito, empíricas y no-empíricas, hace que nuestras suposiciones sean más verosímiles y constrictivas, pero no infalibles. La búsqueda de certeza definitiva, característica de la no-ciencia, se sustituye en la ciencia por la búsqueda de la verdad objetiva aproximada, pero perfectible.

La tercera propuesta que mencionamos consistía en desentenderse de la lógica deductiva y buscar la certeza por otra parte, en la lógica inductiva. Pero esto es una quimera: no hay hipótesis infalibles y, estrictamente hablando, todas las inferencias no-deductivas son falaces: no nos permiten concluir nada, pero son expedientes que nos permiten sospechar la verdad o la falsedad de afirmaciones. La verdadera tarea de la "lógica" no deductiva no tiene que consistir en consagrar falsedades, sino en estudiar los efectivos esquemas de la inferencia científica no deductiva que se presentan en el estadio de la contrastación, así como las condiciones de su rendimiento óptimo. Por ejemplo, en nuestro caso del sujeto mentalmente ausente, si hallamos que no reacciona al ruido, "inferimos" que es plausible suponer que está mentalmente ausente (caso de reducción fuerte). Pero nuestro sujeto puede estar simulando, de tal modo que habrá que disponer de otras contrastaciones más, como, por ejemplo, murmurar que acaba de llegar una carta

importantísima para él; y, si es posible, habrá que buscar y justificar teoréticamente algún indicador objetivo (por ejemplo, fisiológico) de ese estado de ausencia mental. O bien la hipótesis en cuestión puede ser plausible en razón de anterior experiencia con el sujeto, la cual nos sugiera que suele estar ausente mentalmente; en este caso podemos basarnos en el supuesto de que probablemente no reaccionará a pequeños cambios del medio: $A \rightarrow -R$, y "A" es verosímil, luego "$-R$" es plausible (caso de *modus ponens* débil). O también, por último, puede ser que estemos bastante seguros, aunque no totalmente, de que el sujeto está reaccionando al ruido, en cuyo caso inferimos que el sujeto está probablemente alerta: $A \rightarrow -R$, y "R", es plausible, luego "$-A$" es plausible (caso de *modus tollens* débil).

Pero *¿cuánta plausibilidad* puede tener una suposición plausible, y cuánta plausibilidad puede tener, por su parte, la inferencia que da aquella conclusión? Ninguna de las existentes teorías de "lógica" inductiva da respuestas aceptables a esas preguntas: se trata aun hoy de problemas abiertos. Además, incluso se ha puesto en duda la mera legitimidad de cualquier intento de construir una "lógica" inductiva, por el hecho de que la inferencia no-deductiva es ilógica, carece de leyes estrictas; y el valor de una tal teoría –en el caso de que fuera posible– se ha puesto también en tela de juicio porque las hipótesis y las teorías no se construyen nunca inductivamente. El primer argumento parece ignorar la cuestión: la inferencia no-deductiva carece, ciertamente, de valor lógico, pero, en cambio, es epistémicamente imprescindible, y siempre será mejor que nos enfrentemos con el problema que plantea, en vez de ignorarlo pretendiendo que no se presenta en la ciencia. Tampoco el segundo argumento tiene mucho más peso, pues la inducción, por impotente que sea para la *construcción* de hipótesis y teorías, se utiliza en cambio sin duda en la comparación de sus consecuencias contrastables con los datos empíricos: así, por ejemplo, si todas las t contrastadas concuerdan intensamente con las e correspondientes, practicamos el salto inductivo (y, naturalmente, falible) a la "conclusión" según la cual la hipótesis que implica las t contrastables ha quedado satisfactoriamente confirmada; lo cual, hablando con estricto rigor, es una semi-verdad rayana en mentira. Dicho brevemente: la "lógica" no-deductiva resulta ser una legítima empresa relevante para la *contrastación empírica* de hipótesis y teorías, aunque es irrelevante para su *construcción.* Y la desgraciada circunstancia de que en ella no exista apenas una sólida disciplina es un reto, no una prueba de su imposibilidad: un reto que nos impone la construcción de una teoría *a posteriori* o factual de la inferencia plausible, abandonando la idea de obtener de la misma una teoría a priori que sería, consiguientemente, inaplicable.

Vamos a plantearnos a continuación algunos de los problemas con que se encuentra toda "lógica" no-deductiva.

Problemas

15.3.1. En la Edad Media, la persona acusada de algún crimen era sumida, por ejemplo, en agua profunda para contrastar la hipótesis de su culpabilidad. Si la persona sobrevivía, se la declaraba inocente o culpable de pacto con el diablo, según los casos; y también según los casos se la declaraba culpable o inocente si se hundía. Hoy día, esa prueba del agua se considera completamente

irrelevante para la hipótesis en cuestión, la de la culpabilidad de las personas. ¿Era irrelevante en el contexto de las creencias religiosas medievales? Obtener de ello alguna moraleja acerca del carácter contextual de la relevancia de la información empírica para las hipótesis, y sobre la contrastación independiente de toda hipótesis del tipo hipótesis-indicador.

15.3.2. Hasta tiempos muy recientes, algunas enfermedades (especialmente las psicosis) se consideraron como efectos –y, por lo tanto, pruebas– de posesión demoníaca. Por ello, las personas afectadas por tales enfermedades eran tratadas con exorcismos (operaciones para "arrojar los demonios"). Si los sujetos se curaban, se reforzaba la fe en aquella técnica. Si no se curaban, se declaraba que el exorcismo usado era insuficiente, pero no ineficaz. Explicitar las inferencias supuestas en el diagnóstico y en la prognosis. *Problema en lugar de ése*: Examinar la práctica china de la acupuntura, fundada también en la creencia en que la enfermedad consiste en o es efecto de malos espíritus presentes en el cuerpo.

15.3.3. Estudiar la relación síntoma-enfermedad. Mostrar cuáles son las relaciones ontológicas y lógicas, o sea, presentar la relación causa-efecto y la relación antecedente-consecuente. Y examinar el esquema de inferencia que utilizan los médicos al conjeturar causas: ¿es una inferencia concluyente? ¿Y es también arbitraria en el caso de apoyarse en la fisiología o la bioquímica?

15.3.4. ¿Cómo podríamos contrastar la hipótesis de que un determinado carácter biológico, por ejemplo, el que una planta tenga hojas suculentas, es resultado de adaptación? Tener en cuenta que, aunque podemos percibir el carácter mismo, en cambio el valor de adaptación que tenga es cosa inferida.

15.3.5. Considerar los siguientes enunciados: (*i*) "La bebida disminuye la fuerza de voluntad". (*ii*) "La debilidad de carácter puede conducir a la bebida". (*iii*) "La debilidad de carácter y la bebida se refuerzan recíprocamente". ¿Prueban o ejemplifican esos enunciados las tesis de (*i*) el epifenomenismo, (*ii*) la prioridad del alma sobre el cuerpo, y (*iii*) la interacción entre la mente y el cuerpo?

15.3.6. Analizar la siguiente exposición de E. D. Adrian, *The Basis of Sensation*, Londres, Christophers, 1928, p. 15: "En todos los casos estudiados hasta el presente, siempre que ha habido alguna razón para suponer que un nervio estuviera en acción, se han detectado los cambios de potencial habituales (cuando las condiciones para registrarlos eran favorables)." ¿Qué debe hacerse cuando no se observan cambios de potencial (indirectamente)? ¿Rechazar la hipótesis o concluir que las condiciones de observación son desfavorables?

15.3.7. Tomar cualquier hipótesis científica y examinar sucesivamente los siguientes problemas suscitados por su contrastación: (*i*) el problema lógico de hallar las relaciones entre la hipótesis y sus evidencias posibles; (*ii*) el problema metodológico de proyectar procedimientos científicos para contrastar la hipótesis; (*iii*) el problema de estimar la evidencia, esto es, de estimar la hipótesis.

15.3.8. Según el apriorismo, los datos son deducibles de supuestos a priori. El empirismo, en cambio, sostiene que las hipótesis, si es que de verdad son necesarias, son inducibles de los datos. ¿Concuerda alguna de esas doctrinas con la efectiva práctica científica, o sea, son autosuficientes las hipótesis o los datos?

15.3.9. Examinar la difundida opinión de que las hipótesis pueden corregirse gradualmente hasta alcanzar principios completamente ciertos e inmutables. Cf. C. Wolff, *Preliminary Discourse on Philosophy in General*, 1728; traducción inglesa, Indianapolis y Nueva York, Bobbs-Merrill, 1963, §§ 126 y 127.

15.3.10. Según R. Carnap, a tenor de su influyente artículo "Testability and Meaning", *Philosophy of Science*, *3*, 419, 1936, y *4*, 1, 1937, la forma lógica de un enunciado que exprese la condición de contrastación y de verdad de una hipótesis cuyo contenido sea la atribución de una propiedad inobservable, P, a un objeto, x, es una forma del siguiente tenor: Si x se somete a la

condición de contrastación *C*, entonces: si *x* presenta el comportamiento *B*, entonces *x* tiene la propiedad *P*. Brevemente: $Cx \rightarrow (Bx \rightarrow Px)$. Por el principio de exportación, esta fórmula equivale a: $(Cx \,\&\, Bx) \rightarrow Px$. Si ésa fuera la implicación realmente supuesta por la inferencia científica, podríamos establecer concluyentemente todas nuestras hipótesis sobre la base de su contrastación empírica, puesto que el antecedente del condicional no contiene más que conceptos observacionales. ¿Es eso posible? Si no lo es, ¿dónde está el error de ese análisis lógico de las contrastaciones empíricas? ¿Qué decir del siguiente esquema: $Px \rightarrow (Cx \rightarrow Bx)$? ¿Permite obtener inferencias concluyentes? Por último: esos condicionales que relacionan inobservables con observables, ¿pueden postularse libremente o están controlados teorética y empíricamente? *Problema en lugar de ése*: Cuanto más fuerte es una hipótesis, tanto más explicará y tantas más ocasiones tendrá de chocar con la experiencia. Pero la experiencia autoriza a pasar a las "conclusiones" más débiles. ¿Por qué cuerno del dilema nos decidiremos? ¿O podemos eludir la decisión?

15.4. CONFIRMACIÓN Y REFUTACIÓN

Al cruzarnos con una rubia, ¿pensamos que hemos confirmado la hipótesis "Todos los cuervos son negros"? Negaremos eso intuitivamente: nuestra observación de la rubia es *irrelevante* para la hipótesis dicha y, por tanto, aquella observación no cuenta ni como confirmadora ni como refutadora de la hipótesis. Sin embargo, el lógico podría argüir lo siguiente: "Todos los cuervos son negros" es lógicamente (sintácticamente) equivalente a "Una cosa es un no-cuervo o es negra." (Y, efectivamente, "$(x)\ [C(x) \rightarrow N(x)] \leftrightarrow (x)\ [-C(x) \vee N(x)]$" es lógicamente verdadera.) Y como una rubia no es un cuervo, su observación confirma que los cuervos son negros. Esto sirva de ejemplificación de una de las paradojas de la confirmación (C. G. Hempel).

Si el lógico lleva razón, la técnica de ejemplificación no servirá para nada, puesto que casi todo podría considerarse evidencia de cualquier cosa. Este hecho mueve a los refutabilistas (por ejemplo, y señaladamente, K. R. Popper) a insistir en que la búsqueda de confirmación (apoyo inductivo) no tiene interés alguno. Si se busca exclusivamente refutaciones, no se encuentra uno con ninguna paradoja de la confirmación, porque lo único que se intenta entonces es hallar cuervos *no negros*, pasando por alto los negros ya conocidos. O sea, si el lógico tiene razón en aquel análisis, entonces también la tiene el refutabilista al afirmar que lo único de relieve son las desconfirmaciones o refutaciones intentadas y fracasadas. Pero, en realidad, fracasar en un intento de falsar una hipótesis es lo mismo que tener éxito en un intento de confirmarla, con la condición de que lo único considerado sea evidencia *relevante*. Consiguientemente, si el lógico tiene razón, tanto el confirmacionista (inductivista) cuanto el refutabilista (reductivista) están en un aprieto, y tendremos que concluir que la contrastación empírica carece de valor. Pero si tal es el caso, entonces cualquier hipótesis es tan buena o tan mala como cualquier otra y, en particular, la pseudociencia vale tanto como la ciencia seria.

Puesto que, como es obvio, rechazamos esa conclusión, tiene que ser falsa alguna de las premisas usadas en esa argumentación. Y la culpable es, desde luego, la suposición tácita de que todo dato es relevante para cualquier hipótesis, o, lo que es lo mismo, el supuesto tácito de que los datos pueden tomarse arbitrariamente de cualquier universo

del discurso. Ese supuesto es obviamente falso: al intentar contrastar "Todos los cuervos son negros", lo que hacemos sin más tácitamente es *fijar el universo del discurso* restringiéndolo a las aves: no estudiaremos cualquier cosa que no sea un ave. Dicho de otro modo: lo que hacemos *no* es atender con abierta y dispersa atención a todo lo que nos caiga bajo la vista, sino concentrar la atención, seleccionar una clase de datos, restringir el ámbito de nuestra variable individual x al conjunto de las aves. Esta limitación del dominio de los individuos disuelve la paradoja y recoge la práctica usual, usual en la ciencia y en la vida cotidiana, de distinguir la evidencia relevante de la que no lo es.

Esa restricción del dominio de individuos, o universo del discurso, se indica explícitamente en la siguiente simbolización del condicional general "$(x)_C N(x)$", que se leerá: 'todo x de C tiene la propiedad N'. Dicha indicación del dominio de los individuos no se presenta en la simbolización corriente del condicional general, que es "$(x)\ [C(x) \rightarrow N(x)]$", lo cual da lugar a la paradoja de la confirmación. Como esta última fórmula es equivalente a $(x)\ [-N(x) \rightarrow -C(x)]$, un aficionado ingenuo que no sepa nada de los cuervos –ni de la ciencia– puede sentirse obligado a estudiar cuidadosamente todos los objetos no negros que encuentre –por ejemplo, todas las rubias con que tropiece por la calle–, para convencerse de que no son cuervos, en vez de limitarse a estudiar éstos. Para evitarle el trabajo de esa caza de rubias, tendremos que recordarle que el contexto de su hipótesis es la ornitología. O sea, en vez de agitarnos sin norte con nociones y enunciados dispersos, tenemos que colocarlos en seguida en su contexto propio, porque eso es lo único que nos permitirá precisar cuál es el dominio de individuos relevante.

En resumen, pues, para que un dato sea una evidencia en favor o en contra de una hipótesis, tiene que empezar por ser relevante para ella. En el caso de una generalización empírica de nivel bajo, g, podemos decir que la información empírica, b, es relevante para g si y sólo si g y e tienen el mismo referente; e será irrelevante para g si y sólo si no es relevante para g. Si el individuo c resulta ser cuervo y negro, o sea, si $C(c)\ \&\ N(c)$, entonces c confirma la triste generalización, aunque no la ejemplifica, porque la anterior conjunción es más bien un ejemplo de la generalización existencial "$(\exists x)\ [C(x)\ \&\ N(x)]$", la cual no está implicada por la correspondiente generalización universal. Si c es un cuervo no negro, o sea, si $C(x)\ \&\ -N(x)$, entonces desconfirma la generalización. Y si c no es un cuervo, sea negro ($-C(x)\ \&\ N(x)$) o no sea negro ($-C(x)\ \&\ -N(x)$), la cosa no cambia para la generalización: en cualquier caso e será irrelevante para ella. En resumen, el dato e será de una de las clases siguientes:

$C(c)\ \&\ N(c)$	confirmadora	(evidencia) relevante
$C(c)\ \&\ -N(c)$	refutadora	(evidencia) relevante
$-C(c)\ \&\ N(c)$	(no evidencia) irrelevante	
$-C(c)\ \&\ -N(c)$	(no evidencia) irrelevante	

Dicho brevemente: por el procedimiento de precisar el contexto y, por tanto, el referente de la generalización que se está contrastando, disolvemos la paradoja y conservamos la significación usual de 'caso confirmador'. En cambio, si separamos la generalización de su contexto y jugamos con transformaciones puramente sintácticas, caemos en las dificultades y paradojas vistas.

El anterior criterio de relevancia es inaplicable a las hipótesis científicas propiamente dichas, porque los referentes de éstas son inobservables y, por tanto, diferentes de los de las evidencias en favor o en contra de hipótesis. Pero dichos enunciados, si es que son contrastables en algún sentido, tienen que estar lógicamente relacionados con proposiciones susceptibles de confrontación de un tipo u otro con evidencia empírica. O sea, la hipótesis misma no tendrá referente observacional ni ejemplo no observacional, pero, si es contrastable, será un eslabón de una larga cadena cuyo último miembro tiene que compararse de algún modo con alguna información empírica. Al igual que el primero, el último eslabón se refiere a un objeto idealizado, como un gas perfecto o una economía puramente competitiva: la deducción no tiene por qué llevarnos necesariamente más cerca de la experiencia. Para salvar el hiato entre el último eslabón y los datos tenemos que introducir una hipótesis subsidiaria que vincule el referente con la evidencia, lo cual constituye el paso 3 del proceso esbozado en la sección anterior.

Ahora bien, como se ha indicado en las secciones 5.2, 10.4 y 15.3, la hipótesis misma, junto con el conocimiento anterior, sugerirá la clase de evidencia que le es relevante. Por ejemplo, la hipótesis de que el pensamiento es un proceso cerebral nos llevará al estudio de los procesos cerebrales que acompañan al pensamiento abstracto, en busca de evidencia relevante. Pero la descripción parece circular: si se permite que una hipótesis contraste a sus propios confirmadores, entonces la contrastación no podrá ser más imparcial que una sentencia dictada por el defensor del acusado. (A esto se llamó en el problema 8.4.10 paradoja de la convalidación empírica.) Si e fuera todo el apoyo que h pudiera obtener, entonces la convalidación empírica sería efectivamente circular y, por tanto, inútil. Pero hemos superado ya la idea de que contrastar h consista simplemente en hallar un conjunto de e y colocarlos enfrente de h sin más base que la afirmación del científico según la cual e es efectivamente una pieza de evidencia relevante para h. Ya nos hemos acostumbrado a la idea de los controles múltiples, empíricos y teoréticos: (*i*) se exige que la hipótesis contrastada consiga el apoyo ulterior de *otras hipótesis* lógicamente relacionadas con ella, como se estipuló en la sec. 5.5 y volverá a argüirse en la sec. 15.6; (*ii*) las hipótesis contrastadoras supuestas en la contrastación de una hipótesis de nivel alto tienen que ser ellas mismas *independientemente contrastadas*, empírica y teoréticamente (cf. secs. 14.5 y 15.3). En resumen: la teorificación y la contrastación cruzada e independiente compensan la debilidad de cada contrastación tomada por separado, la cual es por sí misma, o puede hacerse que sea, circular. Una contrastación empírica es efectiva en la medida en la cual no es ni aislada ni puramente empírica.

En cualquier caso, todo proceso aislado de búsqueda de datos relevantes (evidencia) en favor o en contra de una hipótesis científica puede resumirse en un diagrama como el de la fig. 15.6. En él, A representa el cuerpo del conocimiento previo, o antecedente, utilizado en la elaboración de las consecuencias de h y en la elaboración de las hipótesis contrastadoras y el procedimiento de contrastación. La hipótesis contrastadora, o conjetura causa-síntoma, es una implicación de la forma "$t_n \rightarrow t$", siendo t_n una de las consecuencias de nivel bajo de h y A, y t el enunciado que es susceptible de comparación con e por medio de t^* y de e^* (cf. la sección anterior). Aceptaremos e como *relevante* para h no porque tengan el mismo referente, pues no pueden tenerlo ya por la mera definición del concepto "hipótesis", sino cuando h y A impliquen t_n, el cual, a su vez, en conjunción

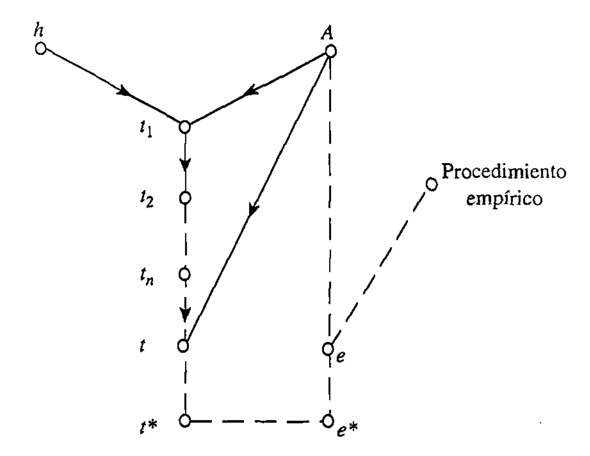


FIGURA 15.6. La retorcida contrastación de las hipótesis científicas: sólo los últimos eslabones, t_n, de una cadena de implicaciones se contrastan empíricamente. Esto exige la introducción de más condicionales $t_n \rightarrow t$, sobre la base del conocimiento anterior A, y tales que t pueda confrontarse con e después de una traducción adecuada.

con A, lleve a $t_n \rightarrow t$, de tal modo que e (resultado de procedimientos empíricos aplicados con la ayuda de A), una vez traducido por e^*, sea relevante para t^*, que es por su parte la traducción de t a un lenguaje común semi-empírico y semi-teorético (cf. secs. 8.1 y 8.4). De este modo, el concepto de relevancia de un dato para una hipótesis subsume el concepto de relevancia directa introducido para las generalizaciones empíricas. Si, además, la traducción semi-empírica t^* es epistémicamente equivalente a la traducción semi-empírica e^* (cf. sec. 15.2), decimos que *e confirma h.* Y si e^* y t^* son epistémicamente no-equivalentes, decimos que *e desconfirma h.* Tenemos, en resumen, las definiciones siguientes:

$$e \text{ confirma } h =_{\text{df}} [\{A, h\} \vdash t_n] \;\&\; [\{t_n, A\} \vdash t_n \rightarrow t] \;\&\; (t^* \text{ traduce } t \;\&\; e^* \text{ traduce } e) \;\&\; (e^* \text{ es relevante para } t^*) \;\&\; (t^* \text{ Eq } e^*).$$

$$c \text{ desconfirma } h =_{\text{df}} [\{A, h\} \vdash t_n] \;\&\; [\{t_n, A\} \vdash t_n\,] \;\&\; (t^* \text{ traduce } t \;\&\; e^* \text{ traduce } e) \;\&\; (e^* \text{ es relevante para } t^*) \;\&\; -(t^* \text{ Eq } e^*).$$

¿Cuál es el *peso de la evidencia*, o sea, qué importancia tienen las confirmaciones y desconfirmaciones? Es claro que eso depende del grado de generalidad y sistematicidad de la hipótesis. Una hipótesis singular, como "Hay petróleo a 1 000 m por debajo de la superficie de este lugar", puede contrastarse de una vez para siempre con una sola información empírica: un sondeo refutará o confirmará la hipótesis concluyentemente. Dicho de otro modo: la evidencia confirmadora y la desconfirmadora son igualmente estimables en la contrastación empírica de hipótesis singulares cualitativas y no sistemáticas (aisladas). Pero las hipótesis que más interesan en la ciencia son *generales* y *sistémicas*

en alguna medida: se refieren a conjuntos de hechos de una clase determinada y están en relación con otras hipótesis (cf. sec. 5.7). Consiguientemente, hay que contrastarlas confrontándolas con (*i*) enteros conjuntos de datos de una determinada clase y (*ii*) enteros cuerpos de hipótesis relacionados con ellas. Esto último es una contrastación de consistencia externa (cf. sec. 7.6), una operación puramente conceptual en la medida en que resulta practicable. Pero, desde luego, las hipótesis que controlan la que está contrastándose tienen que contrastarse a su vez teorética y empíricamente, de tal modo que en cualquier caso tenemos que llegar hasta contrastaciones empíricas: no hay verdades fácticas eternas que puedan servir como criterios absolutos. Concentremos, pues, la atención sobre el problema del *peso de la evidencia empírica* en favor o en contra de una hipótesis científica. Este concepto puede cuantificarse de varias maneras. Nos atendremos a la más simple.

Sean $\{t_i \mid 1 \leq i \leq m\}$ el conjunto de las consecuencias contrastables de h derivadas y contrastadas hasta el momento, y $E = \{e_i \mid 1 \leq i \leq m\}$ el conjunto de informes empíricos relevantes para h, o sea, comparables, directa o indirectamente, con los t_i. Supongamos que se han realizado N contrastaciones, $n \leq N$ de las cuales son favorables a h, y el resto, $N - n$, desfavorables a h. Reordenando los informes empíricos e_j, de tal modo que los n primeros de ellos sean favorables y el resto desfavorables, tenemos: t_i Eq e_i para $i = 1, 2, \ldots, n \leq N$ en el caso de las generalizaciones empíricas. En el caso de las hipótesis propiamente dichas sustituimos t_i por t_i^* y e_i por e_i^*. El grado de *confirmación empírica* de h respecto de la información empírica E puede definirse así:

$$C(h \mid E) = \frac{n}{N} \qquad [15.4]$$

Si $n = 0$, o sea, si todos los datos empíricos obtenidos hasta el momento son discordantes con los t_i implicados por h, entonces $C(h \mid E) = 0$. Si todas las contrastaciones practicadas hasta el momento concuerdan con los t_i correspondientes (o con sus traducciones t_i^*), entonces $C(h \mid E) = 1$. En todos los demás casos, $C(h \mid E)$ se encontrará entre 0 y 1. No hará falta decir que al calcular $C(h \mid E)$ tomaremos en cuenta la *evidencia disponible total*; en particular, no suprimiremos evidencia desfavorable a menos que quede descalificada por el conocimiento previo, como en el caso de los datos experimentales que queden demasiado lejos del valor más probable.

El paso siguiente será construir un *cálculo* de los grados de confirmación, o sea, una teoría que nos permita computar el grado de confirmación de hipótesis complejas, como $h_1 \vee h_2$ o $h_1 \,\&\, h_2$, dados los grados de confirmación de cada hipótesis h_1, h_2. No existe por el momento tal teoría. Es verdad que, de acuerdo con una difundida opinión elaborada por R. Carnap, ese cálculo sería la teoría de la probabilidad; dicho de otro modo, la lógica de la confirmación sería un modelo de la teoría matemática de la probabilidad. Pero eso es un error: el concepto de grado de confirmación no satisface el axioma central del cálculo elemental de probabilidades, o sea, la fórmula [7.25] de la sec. 7.5. Efectivamente, la probabilidad de cualquier tautología es máxima (= 1), mientras que el grado de confirmación de la misma debería ser cero, puesto que la experiencia es del todo irrelevante para la verdad lógica: lejos de confirmar las identidades lógicas mediante contrastaciones

empíricas, lo que hacemos es planear las contrastaciones empíricas con la ayuda de la lógica. Por ejemplo, mientras que $P(h \vee -h) = 1$ (como se desprende fácilmente de [7.25] y [7.26]), deberíamos tener $C(h \vee -h \mid E) = 0$. Análogamente, mientras que $P(h \mathbin{\&} -h) = 0$ (como puede verse usando el anterior resultado, [7.26] y el teorema de De Morgan), deberíamos tener $C(h \mathbin{\&} -h \mid E) \neq 0$. En todo caso, una teoría de la confirmación empírica que atribuya grados de confirmación idénticos con las probabilidades, no es una teoría de la confirmación *empírica*.

Pasando por alto esas dificultades, ¿qué nos dicen los números obtenidos mediante [15.4]? Una gran mayoría de resultados favorables de contrastaciones se cuantifica como alto grado de confirmación, mientras que una fracción muy pequeña de resultados favorables se interpreta como bajo grado de confirmación. Pero un alto grado de confirmación no es valioso más que si el conjunto de los datos empíricos relevantes para la hipótesis se ha tomado *al azar* (sin tendenciosidad) y es *numeroso*. La condición de casualidad puede sustituirse por la condición, mucho más constrictiva, de tomar deliberadamente los casos menos probables o de más riesgo (por ejemplo, los intervalos menos probables de una magnitud, según indica la Regla 1 de la sec. 10.4; si se hace así, se obtiene un límite mínimo o inferior de grado de confirmación. ¿Qué decir de la condición de numerosidad? ¿Qué tamaño debe tener la muestra de datos? ¿Bastarán 100 casos, o necesitaremos 100 veces más? Es obvio que ningún número de casos, por grande que sea, será *suficiente* para declarar que la hipótesis es verdadera, aunque el grado de confirmación resulte ser la unidad; pero será *necesario* un cierto mínimo para concluir que la hipótesis es verosímil, o sea, para atribuir algún valor al grado de confirmación. ¿Cuál es ese mínimo y quién ha de estipularlo? No hay número fijo ni modo de establecerlo, salvo por convención, y tampoco tiene interés el intentar establecer una regla universal al respecto, porque esa regla no daría ninguna garantía y porque el mínimo se determina por la naturaleza del caso. En realidad, el estado de la ciencia determina un límite inferior del número de casos que se consideran necesarios para inferir algo acerca del valor veritativo de una hipótesis sobre la base de dichos casos. Así, por ejemplo, en los primeros días de la física atómica y nuclear, media docena de datos solían bastar para animar o desanimar el ulterior estudio de una hipótesis, y eso que cada uno de esos datos podía estar afectado por un error de hasta el 30%, mientras que hoy día cien datos con un error de 0.1% son por lo común insuficientes en ese mismo campo. Esta dependencia de N, y, por tanto, de $C(h \mid E)$, respecto de la naturaleza del caso, dado el estado del conocimiento científico, es una razón más para no considerar la teoría de la inferencia científica como una empresa formal a la par con la lógica deductiva.

En cualquier caso, cuando se atribuye a una hipótesis un alto grado de confirmación sobre la base de un "gran" número de contrastaciones sometidas a las condiciones de casualidad o de dureza extrema, puede decirse que esa hipótesis disfruta *pro tempore* de un *apoyo inductivo fuerte*; si ése no es el caso, se dice que la hipótesis tiene un *apoyo inductivo débil* o que carece de todo sostén. Rara vez calculan los científicos valores numéricos exactos del grado de confirmación y, cuando los indican, no los dan con valor permanente. Tiene poco interés el calcular esos valores y ello por las razones siguientes. En primer lugar, la razón n/N de los casos favorables al número total de casos no tiene límite en sentido matemático: es una frecuencia empíricamente hallada que fluctúa sin

sujeción a *ninguna ley*. (La teoría de la inducción de H. Reichenbach se aplica al caso de que exista tal límite. Si una secuencia de frecuencias relativas tiene límite, entonces el último miembro empíricamente hallado de la secuencia puede tomarse correctamente como la mejor estimación del límite desconocido, pero existente. Mas, puesto que el supuesto de la existencia de ese límite carece de fundamento, la teoría entera pierde toda solidez.) En segundo lugar, la fórmula [15.4] no recoge el grado de finura de la técnica empírica que lleve a los datos E, y aún menos la fuerza lógica y el fundamento de la hipótesis, todos los cuales son importantes indicadores de verosimilitud. En tercer lugar, los científicos no desperdician la vida contrastando repetidamente las mismas hipótesis: muy frecuentemente las sustituyen por otras que impliquen consecuencias total o parcialmente diferentes y reclamen, por tanto, diferente evidencia empírica. (Ésta es una de las razones por las cuales no es rentable el acumular evidencia empírica no digerible por alguna teoría respetable; esa evidencia puede hacerse anacrónica. Algunos objetivos y, sobre todo, estructuras objetivas, son más permanentes que nuestras teorías acerca de ellos; pero los datos empíricos son tan mortales como las ideas para las cuales son relevantes y por medio de las cuales se producen e interpretan.) En cuarto lugar, un alto grado de confirmación empírica, o sea, un apoyo inductivo alto, no es más que *una* entre varias virtudes que exigimos tenga una hipótesis científica antes de aceptarla: otras de esas virtudes son la variedad de la evidencia y la concordancia de la evidencia y la hipótesis con teorías fundamentales.

Hemos hablado del *apoyo inductivo* de que gozan las hipótesis, sin adherirnos al *inductivismo*, la doctrina según la cual las hipótesis se construyen y se justifican por inducción de primera clase o primer tipo exclusivamente. Atribuimos un papel a la inducción en la estimación del apoyo *empírico* con que cuentan las hipótesis, no en la elaboración ni en la justificación de las mismas. No construimos hipótesis, ni mucho menos teorías, mediante la generalización de datos observacionales, ya por el hecho de que las hipótesis propiamente dichas no refieren a nada observable. Y tampoco justificamos o fundamentamos una hipótesis diciendo simplemente que tiene un apoyo inductivo fuerte: tiene que haber algún otro fundamento para elaborar y seguir estudiando una hipótesis: alguna teoría tiene que sugerir por lo menos la posibilidad de la hipótesis. La inducción aparece cuando *resumimos* los resultados de la contrastación empírica de una hipótesis en un enunciado como "La evidencia disponible (no) da un apoyo fuerte (débil) a nuestra hipótesis". Éste es el principal papel de la inducción en la ciencia: la inducción no es un *método*, sino un *acto*, y un acto realizado en la fase empírica de la contrastación de hipótesis. Decir que una hipótesis goza de un apoyo inductivo fuerte no quiere decir que la hipótesis *implique,* cubra o subsuma un amplio cuerpo de evidencia, sino que el conjunto de sus consecuencias contrastables coincide razonablemente con el conjunto de los datos empíricos relevantes. (Recuérdese que un enunciado universal no implica la correspondiente generalización existencial, y que ésta no implica ningún enunciado singular. Por ejemplo, $(x)\ [C(x) \rightarrow N(x)] \nrightarrow (\exists x)\ [C(x)\ \&\ N(x)]$, y $C(c)\ \&\ N(c) \rightarrow (\exists x)\ [C(x)\ \&\ N(x)]$, pero no a la inversa.) Ni siquiera las generalizaciones empíricas implican datos, y aún menos implican los datos generalizaciones empíricas.

De acuerdo con el inductivismo –en la versión representada por Carnap y Reichenbach– debemos intentar *maximalizar* el grado de confirmación de nuestras hipótesis; aún más:

eso es según dicha doctrina todo lo que podemos hacer, y no es poco. Debemos objetar a eso que basta manipular un poco la hipótesis o la experiencia para conseguir un alto grado de confirmación. Cualquiera de los trucos siguientes nos permite alcanzar prácticamente el grado de confirmación que queramos: (*i*) reinterpretar como favorable la evidencia desfavorable mediante la introducción de hipótesis *ad hoc*; (*ii*) reformular la hipótesis de un modo laxo (semánticamente débil) de tal modo que recoja casi toda evidencia relevante; (*iii*) pasar por alto (ocultar) la evidencia desfavorable, por ejemplo, seleccionando los datos; (*iv*) someter la hipótesis a contrastaciones débiles. Si todo lo que podemos hacer es aumentar el grado de confirmación de nuestra hipótesis, entonces no podemos hacer nada para dejarla establecida, porque con cualquiera de esos trucos poco escrupulosos puede conseguirse un valor alto de $C(h \mid E)$. Dicho de otro modo: un valor alto del grado de confirmación definido por [15.4] tiene por sí mismo escasa importancia, puesto que la función $C(h \mid E)$ no depende ni de la contrastabilidad de la hipótesis ni de la dureza (exactitud) de las técnicas de contrastación. A la vista de esas objeciones, podemos preguntarnos por qué se considera tan frecuentemente que un grado de confirmación alto es un desideratum absoluto. Una explicación posible de ese hecho es que los inductivistas no están pensando nunca en hipótesis propiamente dichas, sino más bien en enunciados de resumen de información, del tipo de "Todos los cuervos son negros".

Estas generalizaciones pueden interpretarse como conjunciones de proposiciones observacionales singulares, aunque también puede objetarse que esa interpretación es demasiado restrictiva. En todo caso, si se acepta esa interpretación, el único modo de contrastar empíricamente la conjunción es someter cada elemento de la misma a un examen empírico directo, o tomar grandes muestras al azar de la población total. Si todos los enunciados científicos fueran del tipo corvino, el progreso del conocimiento consistiría en la mera acumulación de evidencias empíricas, la cual es siempre "positiva" y directamente verificable. Pero como las hipótesis científicas no son de la clase manejada por la "lógica" inductiva, ésta es irrelevante para la ciencia.

Los deductivistas –especialmente Popper– añadirían sin duda a esas objeciones la siguiente consideración. Primero: una sola evidencia desfavorable, si se ha podido establecer más allá de toda duda práctica razonable, es suficiente para arruinar una hipótesis general que haya recibido 99 confirmaciones, o sea, que un montón de casos confirmadores carece de peso ante un solo caso refutador; dicho brevemente: un valor $C(h \mid E) = 0.99$, lejos de ser de mucho peso, lo que muestra es que h es falsa. Segundo: de la confirmación de cierto número de consecuencias directamente contrastables de una hipótesis no se sigue lógicamente que la hipótesis misma sea verdadera: afirmar esto es cometer una falacia lógica (reducción). Tercero: los casos favorables hallados en una investigación empírica pueden resultar constitutivos de una muestra no representativa. Aún puede haber una reserva infinita de casos refutadores. En efecto, las consecuencias directamente contrastables que se han derivado hasta el momento son en última instancia una muestra infinita de un conjunto potencialmente infinito (en el caso de las hipótesis universales no restringidas), y no hay razón que nos permita estar seguros de que es una muestra correcta (representativa): ¿qué es un momento de placer comparado con la posible eternidad del infierno? El deductivista concluirá, pues, que un alto grado de confirmación no es sólo de escasa importancia, sino completamente inútil, y que todo lo que podemos desear es

que nuestras hipótesis no queden refutadas por contrastaciones planeadas precisamente para refutarlas.

La primera argumentación es válida si se supone previamente que la *verdad parcial* carece de valor. Pero la argumentación carece de atractivo para los que creen que la verdad parcial es *todo* lo que podemos obtener: para éstos, una hipótesis con alto grado de confirmación, con un grado de confirmación ligeramente inferior a la unidad, sugiere que en su tesis *puede* haber un grano de verdad; además, estimulará la búsqueda de una hipótesis más verdadera, tal vez no demasiado distante de la anterior conjetura. La segunda argumentación es impecable, y lo mismo puede decirse de la tercera. Pero todo lo que prueban es que un grado alto de confirmación no *garantiza* nuestra afirmación de un alto grado de verdad, de probabilidad o de credibilidad. Lo que muestran las argumentaciones del deductivista es que el inductivista se equivoca al pensar que está tanto más seguro cuanto más alto es el grado de confirmación de sus hipótesis: la primera serie de observaciones que se practique puede ser desfavorable hasta el punto de arruinar totalmente la hipótesis, como tantas veces ha ocurrido en la historia de la ciencia. (Recuérdese, en efecto, que la variación de $C(h \mid E)$ con n y N no obedece a ninguna ley.) Esas argumentaciones no prueban que un alto grado de confirmación carezca totalmente de valor; después de todo, un supuesto bien confirmado es una hipótesis que, además de ser contrastable, ha superado contrastaciones duras. Y una contrastación se considerará dura, y por tanto estimable, (*i*) si afecta a una hipótesis sensible a cambios empíricamente controlables, (*ii*) si se ha proyectado a base de teorías previamente corroboradas (aunque falibles) y de técnicas previamente puestas a prueba, y (*iii*) si se han cribado los datos y las experiencias. No basta con que una hipótesis no haya sido refutada: el fallo en la tarea de refutar un enunciado factual puede deberse a laxitud del procedimiento de contrastación, o a dificultades técnicas, o incluso a falta de interés por parte del experimentador o los experimentadores. Hace falta evidencia positiva, no mera falta de evidencia negativa, así como algún fundamento, alguna concordancia con teorías fundamentales.

A la luz de lo que precede, está claro que los inductivistas exageran el valor de la confirmación empírica y que los deductivistas lo subestiman, confundidos unos y otros por el presupuesto erróneo de que las contrastaciones empíricas, que son necesarias, son además las únicas contrastaciones posibles y por añadidura concluyentes. La tabla 15.1 resume las tres posiciones en discusión:

TABLA 15.1. EL VALOR DE LOS DATOS EN LA CIENCIA

Valor de los datos en la creación de h	*Valor de los datos en la contrastación de h*
Confirmacionismo (p.ej., Carnap)	
Como todas las hipótesis científicas son generalizaciones inductivas, los datos empíricos son decisivos en su formación.	Como las contrastaciones empíricas son las únicas contrastaciones posibles, una gran mayoría de casos favorables dejará establecida una hipótesis.

(continúa)

Tabla 15.1 (continuación)

Valor de los datos en la creación de h	*Valor de los datos en la contrastación de h*
Falsacionismo (p.ej., Popper)	
Como todas las hipótesis científicas son transempíricas y universales, los datos no desempeñan papel alguno en su origen, por eficaces que sean psicológicamente.	Como las contrastaciones empíricas son las únicas contrastaciones posibles y la única inferencia válida es la deductiva, los datos son decisivos si son desfavorables, e inútiles si son favorables.
Procedimiento científico	
Los datos (*i*) son ocasiones del descubrimiento de algunos problemas y (*ii*) tienen un papel instrumental en la formación de las generalizaciones empíricas, de máxima importancia en la protociencia (primeros estudios de la ciencia). En cuanto a las hipótesis propiamente dichas, no pueden ni sugerirlas.	Como las contrastaciones empíricas son una parte de una compleja batería de contrastaciones, no son decisivos, aunque sí significativos: (*i*) si son favorables, sugieren cosas, aunque no concluyentemente; (*ii*) si son desfavorables, tienen aún más importancia, pero no por eso son concluyentes, pues la contrastación puede ser errada.

Problemas

15.4.1. ¿Consiste la confirmación de una hipótesis en la posibilidad de interpretar (explicar) *ex post facto* con su ayuda un conjunto de hechos? *Problema en lugar de ése*: ¿Computan normalmente los científicos los grados de confirmación? ¿Intentan reforzarlos mediante una constante acumulación de evidencia? ¿Consiste todo progreso del conocimiento en aumentar el grado de confirmación de un conjunto de hipótesis?

15.4.2. H. Bondi, en *Cosmology*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1960, p. 143, indica que uno de los méritos de la hipótesis de la creación continuada de materia a partir de la nada es que no hay ninguna evidencia observacional en conflicto con ella. ¿Basta esa supuesta falta de evidencia desfavorable para sostener la conjetura? *Problema en lugar de ése*: W. F. G. Swann, en "Nature and the Mind of Man", *Journal of the Franklin Institute*, 261, 591, 1956, presenta una teoría en broma cuyos axiomas contienen conceptos inescrutables que no se presentan en los teoremas. Discutir la pretensión de Swann de que todo lo que confirme los teoremas confirmará los axiomas correspondientes. Recordar las condiciones de homogeneidad semántica y cierre semántico (cf. sec. 7.2.).

15.4.3. Ninguna hipótesis está nunca *verificada*, puesto que todo lo que puede contrastarse empíricamente es alguna consecuencia lógica de la misma, y la verificación de ésta no autoriza a afirmar las correspondientes premisas. Por otra parte, las hipótesis pueden refutarse por *modus tollens*, con la condición de que las evidencias empíricas se den sin tomarlas. Pregunta 1: ¿Es entonces inútil la confirmación? Pregunta 2: Puesto que ninguna hipótesis puede verificarse concluyentemente, ¿debemos sustituir la búsqueda de la verdad por la búsqueda de probabilización (aumento de la probabilidad de las hipótesis)? (Sobre la probabilidad de las hipótesis cf. sec. 10.4.)

Pregunta 3: ¿Constituye toda negación de un conjunto de hipótesis refutadas (como "No hay electrones con gusano") conocimiento científico? ¿Y es consiguientemente la refutación un método de obtención de verdad positiva, no de eliminación de falsedad positiva?

15.4.4. ¿Hay refutaciones empíricas concluyentes? En particular, ¿basta en todo caso una evidencia desfavorable para destruir una hipótesis, o es legítimo en algunos casos apelar a hipótesis *ad hoc* para salvar la hipótesis afectada, como, por ejemplo, la hipótesis *ad hoc* de que la observación se practicó mal, o se interpretó mal, o la de que la causa de la anomalía ha sido una perturbación externa por el momento desconocida?

15.4.5. ¿Hay que practicar contrastaciones duras con la intención de *refutar* una hipótesis? Tener en cuenta que, desde el punto de vista histórico, uno de los pocos casos conocidos de científicos que han intentado refutar, más que contrastar, una hipótesis es el de R. A. Millikan, el cual gastó diez años (1906-1916) en el intento de destruir la hipótesis einsteiniana del fotón, formulada en 1905 ("hipótesis audaz, por no decir absurda"). Discutir la justificación de las contrastaciones *imparciales,* las cuales no intentan confirmar ni refutar hipótesis, por parcial o tendencioso que pueda ser el científico particular. Intentar especificar las condiciones de una contrastación dura usando un lenguaje objetivo, no psicológico.

15.4.6. Los filósofos han buscado frecuentemente una justificación rigurosa de la inducción, basándose en que la inducción es el método o la técnica por el cual la ciencia extrapola una muestra de "ejemplos" o "casos" observados a lo desconocido. Otros filósofos han sostenido que la inducción, precisamente por el hecho de ser un método de expansión del conocimiento, puede justificar cada proyección en particular, pero no necesita justificación ella misma, e incluso no puede justificarse, porque un recurso al alto porcentaje de éxitos del método sería ya una argumentación inductiva y, por tanto, el intento de justificación contendría un círculo vicioso. Examinar las dos tesis. Sugerencia: Empezar por averiguar si la inducción es efectivamente el método que sostienen ambas opiniones. Cf. R. Carnap, *The Continum of Inductive Methods*, Chicago, University of Chicago Press, 1952; I. Lakatos (comp.), *The Problem of Inductive Logic*, Amsterdam, North Holland, 1968.

15.4.7. Un alto grado de confirmación no tiene valor más que si se refiere a una hipótesis muy contrastable que se haya sometido a contrastaciones duras y exigentes. ¿Están contenidas esas dos condiciones en la fórmula [15.4] o en alguna fórmula conocida de la probabilidad de h dado E, como la fórmula de Bayes?

15.4.8. La lógica de la confirmación pasa por alto la relación de las hipótesis y de las teorías con la concepción del mundo predominante en un determinado tiempo y lugar y con los desiderata de la investigación dictados por la teoría que prevalece en aquellas condiciones entre los científicos. ¿Es realista esa abstracción que prescinde de tales puntos de referencia, o sea, es concorde con la corriente práctica efectiva en cuanto a estimación de teorías? Por lo que hace a la concordancia de las ideas científicas con paradigmas, puede verse el libro de T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago, Chicago University Press, 1962.

15.4.9. La fórmula [15.4], que da el grado de confirmación de una hipótesis, refiere a un conjunto finito de datos *actuales*, n de los cuales confirman h, mientras $N - n$ la refutan. ¿Qué pasaría con la expresión $C(h/E)$ si N se interpretara como el número total de los casos o evidencias *posibles* relevantes para h, y n como el número de casos efectivamente confirmadores de h? Y si $C(h/E)$ se interpreta –tal como se hace en la teoría de Carnap– como la probabilidad de h dado E, ¿cuál es la probabilidad del enunciado universal de una ley, y qué significa la frase de que esa probabilidad es cero? ¿Que la hipótesis es falsa, que la ley es imposible, o que la probabilidad no es una medida correcta del grado de confirmación? ¿O existe además otra posible interpretación más de esa circunstancia?

15.4.10. Dilucidar el concepto de *evidencia convergente* (o sea, el concepto de una evidencia

que "apunta" a la verosimilitud de una hipótesis o teoría para la cual es relevante), así como el concepto de evidencia *circunstancial* o presumible (esto es, el concepto de una evidencia que no es directamente relevante para la construcción que se está considerando, sino más bien para algunas de las construcciones lógicamente relacionadas con aquélla). Sobre el carácter circunstancial y convergente de la evidencia en favor de la teoría de la evolución de Darwin en el momento de su formulación, véase W. Le Gros Clark, "The Crucial Evidence for Human Evolution", *Proceedings of the American Phlilosophical Society*, 103, 159, 1959, y *The Antecedents of Man*, 1959; Nueva York, Harper Torchbooks, 1963.

15.5. UNA HISTORIA EJEMPLAR: TORRICELLI

En 1643 Torricelli se enfrentó con el problema de explicar por qué las bombas no pueden levantar el agua a una altura superior a los 18 codos (unos 10 metros). El problema era interesante no sólo para los ingenieros de minas y los fontaneros, sino también por su visible alcance teorético y hasta ideológico. Si, como sostenían los físicos aristotélicos, el agua sube en una bomba de ese tipo porque es aspirada por el vacío (razón por la cual llamaban a estas aspirantes-impelentes bombas de succión), entonces no tiene por qué haber límite a la manifestación de la aversión de la Naturaleza al vacío (*horror vacui*). En realidad, había más razones, de orden no científico, para poner en duda la explicación aristotélica, además de su escaso poder explicativo: el *horror vacui* era una fuerza antropomórfica e inescrutable, y no una fuerza mecánica y medible manifiesta; la ciencia ortodoxa aristotélica estaba desacreditándose en otros terrenos, razón por la cual se estaba haciendo sospechosa en todos; y, por último, aunque no de mínima importancia, la lucha contra la ciencia tradicional era una parte de la guerra emprendida contra el orden social y cultural del feudalismo.

Los escolásticos intentaron salvar la hipótesis ortodoxa mediante unas cuantas hipótesis *ad hoc*. El propio Galileo marchó por ese camino, al suponer que la columna de agua se rompe por su propio peso, a semejanza de una larga varilla de metal. Su discípulo Torricelli no intentó conservar la hipótesis ortodoxa, sino que intentó una conjetura distinta que era compatible con la hidrostática de Arquímedes y Stevinius igual que con la nueva concepción mecanicista del mundo que se estaba construyendo sobre las ruinas de la tradicional concepción organicista y teológica. Además, Torricelli planeó experimentos para contrastar su idea.

La solución de Torricelli no estaba cortada a medida para explicar exclusivamente los fenómenos de la bomba aspirante-impelente, sino que tenía un alcance mucho más amplio: era una pequeña teoría y, por ser, como teoría, de carácter general, podía esperarse que fuera aplicable a varios dominios de la tecnología. Los dos supuestos iniciales de Torricelli eran:

*A*1 El aire es un fluido que obedece a las leyes de la estática de los líquidos.
*A*2 La Tierra está rodeada por una capa de aire, o, como él mismo decía, "Vivimos sumergidos en un mar de aire elemental."

De $A1$, junto con la hidrostática dedujo:

t_1 El aire ejerce una presión sobre todos los cuerpos en contacto con él.

Y de $A2$ y t_1 se sigue:

t_2 El aire atmosférico ejerce una presión sobre la superficie de la tierra (se trata de la moderna "presión atmosférica").

Obsérvese que $A2$ puede reformularse del siguiente modo: "Existe la atmósfera". $A1$ no afirma la existencia de nada, sino la básica identidad de los gases y los líquidos, la inclusión de ambos en el género fluidos. Su consecuencia, t_1, generaliza al aire una propiedad que Stevinus había descubierto en los líquidos. Por lo que hace a t_2, que es otro enunciado legaliforme, tiene un alcance más restringido y se utilizará en la explicación del funcionamiento de las bombas. De hecho, Torricelli explica la subida del líquido en las bombas como efecto de la presión del aire atmosférico sobre la superficie libre del líquido: la función del pistón no es, como creían los aristotélicos, absorber el agua, sino desalojar el aire, liberando así al agua que sube de la presión atmosférica (cf. fig. 15.7). La lógica de esta explicación es como sigue. De t_2 se deriva por especificación:

t_3 El aire atmosférico ejerce una presión sobre la superficie libre de los líquidos.

De $A1$ se sigue que las leyes de los vasos comunicantes valen también para sistemas aire-líquido. En particular, $A1$, en conjunción con t_3 y con la hidrostática implica:

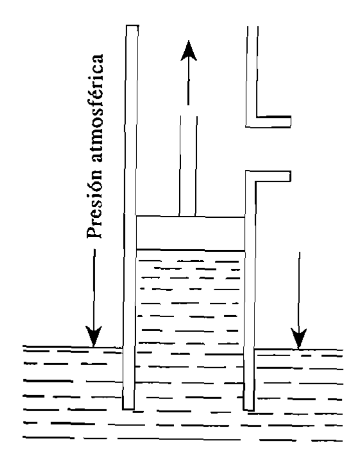


FIGURA 15.7. Explicación mecanísmica del funcionamiento de una bomba aspirante-impelente: la presión atmosférica se transmite al cuerpo líquido, y lo único que hace el pistón es liberar la columna líquida de dicha presión.

t_4 Si no hay ninguna fuerza que obre sobre una porción de la superficie de un líquido mientras el resto de la superficie sufre la acción de la atmósfera, la primera porción sube hasta que su peso se equilibre con el peso de la columna de aire.

Ahora introducimos el concepto del equilibrio hidrostático en un tubo en forma de U:

Df. Dos fluidos se encuentran en equilibrio en un tubo en *U* si y sólo si las presiones que ejercen recíprocamente sobre la superficie de contacto son iguales.

Df. y t_4 implican entonces

t_5 La altura máxima alcanzada por un líquido que sube bajo la acción de la presión atmosférica es la que corresponde al equilibrio. (Dicho cuantitativamente: la presión atmosférica P es igual a la presión del líquido, o sea, a su gravedad específica multiplicada por la altura de su columna: $P = \rho h$, de lo cual se infiere que $h = P/\rho$.)

Aún hace falta dar un pequeño paso más: la relación entre la bomba aspirante-impelente, el depósito de líquido y la atmósfera tiene que precisarse suficientemente. Esta afirmación crucial no es una pura intuición, puesto que va precedida por un análisis; tampoco es una inducción, puesto que no es generalización de un número de observaciones; ni es una deducción, porque no se infiere de premisas previamente formuladas. Es un nuevo axioma sugerido por la comparación de dos cosas y que afirma la semejanza de éstas: es una analogía. La nueva hipótesis es:

*A*3 Una bomba aspirante-impelente, el líquido en el cual está parcialmente sumergida y la atmósfera constituyen un tubo en forma de U, cuya peculiaridad consiste en que la presión atmosférica no obra sobre una de sus ramas (cf. fig. 15.8).

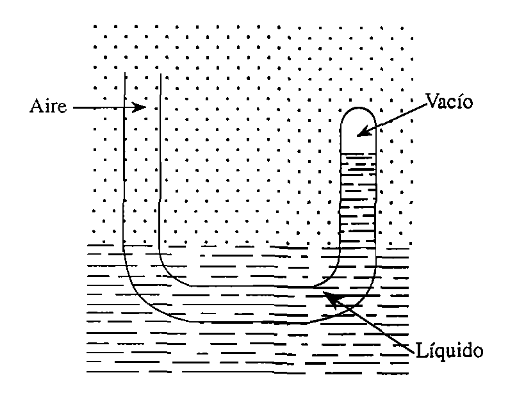


FIGURA 15.8. El modelo teorético de Torricelli para la explicación del complejo bomba-aire-líquido, tal como se expresa en el axioma *A*3.

De *A*3 y t_5 puede deducirse la posibilidad, entonces inaudita, de producir realmente un vacío:

t_6 Si, una vez que la columna líquida ha alcanzado la altura de equilibrio, la bomba sigue trabajando, aparece un vacío entre la superficie de la columna líquida y el pistón.

Esta conclusión, que contradice un axioma de las cosmologías plenistas (negadoras del vacío) de Aristóteles y Descartes, es la base teorética de las técnicas del vacío, desde entonces hasta el día de hoy. En todo caso, tenemos ya con ella todo lo necesario para explicar por qué suben los líquidos en las bombas y por qué su subida tiene límites: *A*3 y t_4 implican el primero de los dos explicanda, mientras que *A*3 y t_5 implican el segundo.

Además, hemos conseguido un modo de objetificar y medir la presión atmosférica midiendo la altura de una columna de líquido en equilibrio con la atmósfera: la hipótesis inobservable-observable, o hipótesis causa-síntoma, es parte de la teoría.

Dicho en resumen muy condensado, los pasos principales del razonamiento de Torricelli hasta este punto son:

1. *Enunciado del problema*
   La limitada capacidad de extracción de las bombas "de succión" y la inadecuación de la hipótesis del *horror vacui* para explicar esa generalización empírica.
2. *Hipótesis iniciales*
   $A1$: La aerostática y la hidrostática son básicamente una sola disciplina — *Analogía*
   $A2$: Existe la atmósfera ("mar de aire elemental") — *Analogía*
3. *Elaboración de hipótesis iniciales*
   $\{A1$, teoría hidrostática$\} \vdash t_1$ — *Deducción*
   $\{A2, t_1\} \vdash t_2$ — *Deducción*
   $t_2 \vdash t_3$ — *Deducción*
   $(A_1, t_3,$ teoría hidrostática$\} \vdash t_4$ — *Deducción*
4. *Expansión de la teoría inicial*
   Df. — *Estipulación*
   $\{Df., t_4\} \vdash t_5$ — *Deducción*
   $A3$: Parte de un tubo en U que funciona como bomba — *Analogía*
   $\{A3, t_5\} \vdash t_6$ — *Deducción*
5. *Solución del problema inicial*
   $\{t_4, A3\} \vdash$ Subida de los líquidos en las bombas — *Deducción*
   $\{t_5, A3\} \vdash$ Altura limitada de la columna de líquido que sube por la bomba — *Deducción*

Torricelli, que era ya un científico moderno, no se contentó con inventar hipótesis y explicitar sus consecuencias, esto es, no se contentó con construir una teoría: además de construirla, la contrastó. Como sus hipótesis básicas no eran directamente contrastables, tenía que seguir elaborándolas: la construcción de la teoría y su contrastación fueron siempre de la mano. Consideremos, en efecto, las hipótesis $A1-A3$, y $t_1 - t_3$: no pueden contrastarse directamente con evidencia empírica porque refieren a objetos físicos no-perceptibles: la atmósfera y la presión atmosférica. Dicho de otro modo: los conceptos "atmósfera" y "presión atmosférica" son trasempíricos, y, además, teoréticos; si esa afirmación sorprende, ello se debe simplemente a que esos conceptos nos son hoy día familiares. Los supuestos iniciales de Torricelli no podían contrastarse sino indirectamente, poniendo a prueba la adecuación (verdad) de aquellas consecuencias suyas que referían a manifestaciones perceptibles de la atmósfera y de su presión. Estas proposiciones de nivel bajo o mínimos son los teoremas t_4 y t_5, y t_6 los cuales refieren a la subida de líquidos y a su altura. En realidad, t_4 es sólo parcialmente contrastable por confrontación con cosas y acaecimientos observables: la subida del líquido es desde luego observable, pero su causa, la presión atmosférica, no lo es, y esto es lo que hace que t_4 sea estimable como hipótesis de contrastación. En cualquier caso, los enunciados t_4 a t_6 pueden contrastarse

manejando líquidos y tubos. Y, como son enunciados universales, enunciados referentes a todos los líquidos, todos los tubos y todas las bombas aspirantes-impelentes en todos los lugares y tiempos de la Tierra y en cualesquiera circunstancias, esos enunciados pueden refutarse o convalidarse eligiendo unos cuantos casos específicos.

Torricelli eligió el caso del par aire-mercurio por razones técnicas: dada la gran novedad específica del mercurio, la altura de la columna de líquido sería moderada y, consiguientemente, el instrumental de vidrio sería sencillo, Viviani llevó a cabo el primer experimento, el esquematizado en la fig. 15.9. El resultado es célebre: contra lo que preveía el sentido común, el mercurio no se salió totalmente del tubo, sino que, de acuerdo con la predicción de la teoría, se detuvo a una altura de algo más de un codo y medio: 76 cm. Y en la parte superior del tubo "vimos que se formaba un espacio vacío, y que no ocurría nada en el tubo en el cual se constituye ese espacio" (Torricelli). ¿Y por qué habría tenido que ocurrir algo? Pues porque Descartes y otros partidarios de la hipótesis del *plenum* habían predicho que los tabiques del tubo estallarían, porque el espacio es una sustancia "y la distancia no es sino una propiedad de la extensión, la cual no puede subsistir sin algo extenso" (Descartes). El experimento refutaba la hipótesis del *plenum* y confirmaba la teoría de Torricelli. En particular, confirmaba la hipótesis del vacío, inimaginable con base en las doctrinas rivales de la de Torricelli. De paso se obtuvo un regalo: "un instrumento que mostrará los cambios del aire", o sea, el barómetro. Otro inobservable más había dejado de ser inescrutable.

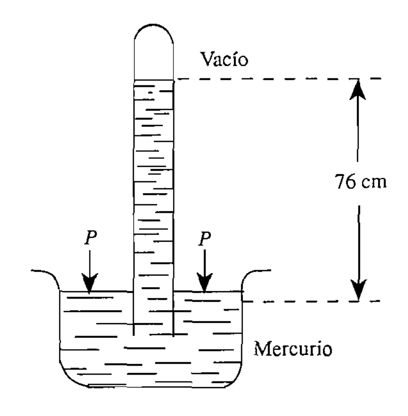


FIGURA 15.9. El primer experimento de Torricelli: "la aparición del vacío".

Es claro, sin embargo, que el primer experimento puede interpretarse de otros modos. Habría sido posible argüir que la variable relevante no era la presión atmosférica, sino una sustancia sumamente rarificada –un éter– que ejerciera una fuerza atractiva sobre la columna de mercurio, consiguiendo así que se sostuviera suspendida. Y, efectivamente, el aristotélico F. Linus declaró que no había vacío en el tubo invertido de Torricelli, el cual estaba ocupado por una cinta elástica invisible, a la que llamó *funiculus*, de la que quedaba colgando la columna de mercurio. Se trataba, sin duda, de una hipótesis *ad hoc* insusceptible de contrastación independiente: el *funiculus* no tenía más función –ni, por tanto, más manifestación– que la de impedir que se derramara el mercurio, o, más bien, la función de proteger la hipótesis plenista de la experiencia desfavorable.

Pero sin duda era deseable más evidencia empírica; se obtuvo gracias a otros dos experimentos.

Si efectivamente es el vacío el que succiona el líquido, entonces cuanto mayor sea el vacío situado en el extremo superior de un tubo, tanto más alta tiene que ser la columna de líquido succionada. Torricelli observó que las cosas no ocurren así: el vacío no es un agente físico activo, sino, meramente, la vieja democrítea ausencia de materia (cf. fig. 15.10). Por tanto, si la moción del líquido debía atribuirse a una fuerza (y en esto había acuerdo universal), esa fuerza no podía ser interna: tenía que ser una fuerza externa, y tan aproximadamente constante, por lo demás, que se había ignorado durante mucho tiempo, del mismo modo que los peces de las profundidades marinas ignorarán la existencia del océano.

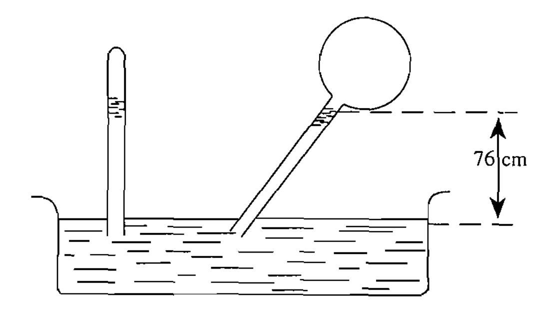


FIGURA 15.10. El segundo experimento de Torricelli: refutación de la hipótesis de que el vacío ejerce una fuerza de succión.

El tercer experimento se debe a Pascal. Si la naturaleza tiene horror al vacío, ese horror tiene que ser el mismo al nivel del mar que en la montaña; y si la columna de mercurio se equilibra con la atmósfera, la columna líquida tiene que ser más corta cuanto menos atmósfera la equilibra. Dicho de otro modo: si Aristóteles tenía razón, el barómetro tenía que mostrar la misma presión a cualquier altitud; mientras que si la razón era de Torricelli, el barómetro tenía que mostrar una presión atmosférica decreciente al aumentar la altitud. El experimento confirmó la teoría de Torricelli, aunque fue un experimento cualitativo: el alpinista que lo realizó no practicó lecturas de barómetro y termómetro. En todo caso, la llamada ley del barómetro, la ley de la disminución exponencial de la presión con la altura, no habría podido tampoco establecerse en aquella época, porque no se había inventado aún la función exponencial, que es un ingrediente formal necesario de la formulación de la ley.

Este tercer experimento, proyectado por Pascal y realizado por un aficionado –Périer– que en el fondo obraba por incitación de otro aficionado, pues Pascal lo era en este terreno, fue entusiásticamente acogido por todos los científicos progresistas como una prueba concluyente de la teoría de Torricelli. En realidad, el experimento se limitaba a refutar las opiniones contrarias y a prestar un gran *apoyo* a la nueva teoría. Por suerte, ningún filósofo notó –y, desgraciadamente, habría podido hacerlo con razón– que ninguno de los tres experimentos era concluyente, porque, en realidad, los tres habían pasado por alto unas cuantas variables de importancia –la temperatura, la estación del año, las nubes, los vientos, la clase de vidrio, el origen del mercurio, etc.– y ninguno de ellos se había practicado más de una o dos veces. Nadie exigió una acumulación de casos favorables para probabilizar (aumentar la probabilidad de) la teoría de Torricelli: no había, por suerte,

lógicos inductivos por allí para fastidiar a Torricelli. Más bien ocurrió lo contrario: la teoría de Torricelli dio origen a toda una serie de nuevas y fecundas hipótesis, experimentos e instrumentos: los espectaculares experimentos de Guericke con los hemisferios de Magdeburgo, los experimentos de Boyle –haciendo época– sobre la compresibilidad de los gases, junto, naturalmente, con su hipótesis al respecto, la hipótesis de que el sonido es un movimiento ondulatorio del aire, la meteorología como ciencia de los cambios atmosféricos (y no, como hasta entonces, historia natural de los "meteoros"), la bomba de vacío y las mediciones de presión, los artefactos que utilizan el vacío, etcétera, todos están inspirados por la teoría de Torricelli. La nueva teoría no llegaba *post festum* para resumir datos preexistentes, sino que abrió camino a su adquisición y llegó incluso a estimular el desarrollo y la adopción de la cosmología democrítea, la cual le suministró a su vez un apoyo doctrinal. Pero ninguna teoría factual es eterna. La conclusión de Torricelli según la cual era posible un vacío completo o "absoluto" tuvo que corregirse dos siglos más tarde, cuando el universo volvió a poblarse con una "materia sutil", a saber, los campos gravitacionales y magnéticos: hasta el vacío del barómetro de Torricelli está rellenado con esos campos. Pero esta vez fue suficiente una corrección menor: el "vacío absoluto" de Torricelli se sustituyó por el "vacío corpuscular".

En su obra, Torricelli y sus colaboradores usaban generosamente analogías y homologías (cf. problema 15.1.1), así como la deducción. En cambio, la inducción no intervenía para nada en la construcción de la teoría ni en la proyección de los experimentos destinados a contrastarla: y no podía, efectivamente, desempeñar papel alguno en esas actividades, pues ni las hipótesis ni los proyectos experimentales son individuos observables. La inducción intervino en la *estimación final de las contrastaciones empíricas* de la teoría de Torricelli. En efecto, la "conclusión" cualitativa (enunciado de resumen) de que la teoría había sido confirmada por un gran número de datos varios era una inferencia inductiva. (Pero hasta el momento no parece que nadie haya calculado la probabilidad o el grado de confirmación de la teoría de Torricelli, y ni siquiera de su hipótesis central, según la cual nos movemos en el fondo de un océano de aire.) Tampoco se acumuló confirmación empírica mediante la repetición y el perfeccionamiento de las observaciones y los experimentos: la teoría apuntaba a nueva evidencia posible a saber, a los hechos que podía explicar aunque no se hubieran observado todavía. Y el apoyo empírico estaba muy lejos de ser el único criterio de estimación: la alegría que produjo el poder refutar ciencia oficial y ortodoxa fue, por lo menos, tan importante como aquél; pero este aspecto del examen de las teorías requerirá nuestra atención más adelante.

Observemos, por último, que, al contrastar su hipótesis central sobre el efecto hidrostático de la atmósfera, Torricelli se vio obligado a introducir hipótesis subsidiarias; de hecho, acabó por construir, involuntariamente, una pequeña teoría. Este hecho es característico de las hipótesis científicas, a diferencia de lo que ocurre con las conjeturas de sentido común: las primeras se enfrentan con la experiencia en haces, y hasta las teorías necesitan la ayuda de otras teorías para tomar contacto con los hechos (cf. sec. 8.4). Y no podría ser de otro modo, dada la interrelación entre las propiedades y los acaecimientos. En cualquier caso, lo importante en la ciencia no es la contrastación de conjeturas sueltas –que es el tema de los sistemas existentes de "lógica" inductiva–, sino la contrastación de teorías. A este tema atenderemos ahora.

Problemas

15.5.1. Torricelli sostuvo que había visto la formación de un vacío. ¿Llevaba razón en esa pretensión?

15.5.2. Dibujar el árbol lógico que muestra la estructura de la argumentación de Torricelli.

15.5.3. ¿Qué papel desempeñó el esquema deductivo del *modus tollens* en el trabajo de Torricelli? ¿Y qué papel desempeñó el esquema de la reducción?

15.5.4. ¿Utilizó Torricelli en sus argumentaciones razonamientos por analogía?

15.5.5. La teoría de Torricelli encontró oposición durante varios años, tanto por parte de los aristotélicos cuanto por parte de los cartesianos. ¿Se trata de un caso de tozuda obstinación, de negativa a creer lo que todo el mundo podía ver?

15.5.6. ¿Han sido las lecturas barométricas las que han desencadenado el estudio de la atmósfera o, por el contrario, ha sido el instrumento mismo un resultado de la teoría de Torricelli? Precaución a respetar: ¿este problema podría ser una de esas cuestiones del tipo del huevo y la gallina?

15.5.7. Supongamos que Torricelli hubiera dominado la estadística matemática y hubiera además tenido a su disposición una máquina calculadora automática. ¿Qué habría ganado con ello en la elaboración de la teoría, en la proyección de los experimentos y en la estimación de los resultados de éstos? Recíprocamente: pongamos a un estadístico en el lugar de Torricelli: ¿habría descubierto más, menos cosas que él, o las mismas?

15.5.8. Estudiar otra historia ejemplar concreta tomada de la historia de la ciencia, reciente o remota, con objeto de descubrir los esquemas de inferencia efectivamente utilizados por los científicos. Este estudio, y la consecución del objetivo, puede requerir algún trabajo de reconstrucción lógica, esto es, la formulación de algunas hipótesis referentes a la vía de investigación seguida por el científico elegido, vía que hoy puede estar ya borrada por falta de documentos. Recordar que sólo las papeleras de los científicos teóricos saben de verdad cuáles fueron los primeros pasos emprendidos por rutas siempre zigzagueantes.

15.5 9. Con frecuencia, hipótesis falsas han sugerido fructíferos proyectos de investigación. Buscar ejemplos y encontrar los mecanismos que pudieron conducir de la falsedad a la verdad. Y extraer una moraleja referente a la identificación pragmatista de verdad con utilidad.

15.5.10. Estudiar el problema de la probabilidad de las hipótesis. Principalmente, determinar (*i*) las significaciones de las varias probabilidades, (*ii*) el dominio de aplicación de la fórmula de Bayes, y (*iii*) el uso de ésta en la inferencia científica y la dilucidación metacientífica. Cf. M. Bunge. *Interpretation and Truth*, Dordrecht, Reidel, 1974. M. S. Bartlett, *Probability, Statistics and Time*, pp. 98-110, Londres, Chapman and Hall, 1975.

15.6. CONTRASTACIÓN DE TEORÍAS

Para considerar verosímil una hipótesis es necesario, aunque no suficiente, que ésta consiga altas calificaciones (un apoyo inductivo fuerte) al superar contrastaciones empíricas duras. La evidencia empírica favorable es inconcluyente porque es unilateral. En efecto, las contrastaciones empíricas pueden mostrar que una determinada hipótesis cubre o no cubre un conjunto de datos, pero ni las contrastaciones empíricas más exigentes dicen nada respecto de otras propiedades deseables, especialmente sobre el modo cómo la hi-

pótesis concuerda o no concuerda con el resto del conocimiento relevante, el cual tiene tanto título como la experiencia para dictaminar por su parte acerca del valor de la hipótesis, aunque no sea más que porque para producir los nuevos datos empíricos hemos utilizado parte de dicho conocimiento básico. Cuanto más numerosos son tales contactos con el conocimiento disponible, tanto más varias pueden ser las contrastaciones y, consiguientemente, tanto más variado el apoyo empírico (indirecto) –al menos potencialmente. En resolución: la *variedad* de los apoyos (u oposiciones) de que dispone una hipótesis tiene tanta importancia, por lo menos, como su mero *número*.

Ahora bien: es posible añadir la variedad al número de confirmaciones (o refutadores) si la hipótesis está lógicamente relacionada con otros enunciados, o sea, si es o se hace parte de una *teoría* (sobre el concepto de teoría, cf. sec. 7.1). Efectivamente: si dos hipótesis, h_1 y h_2, juntan sus fuerzas para constituir una teoría, entonces serán más numerosos y más variados los datos que pesarán en favor o en contra de ellas, más que si las hipótesis quedaran aisladas una de otra: el conjunto T_1 de las consecuencias directamente contrastables de h_1 será ahora una contrastación indirecta de h_2 y, a la inversa, T_2 apoyará o debilitará indirectamente h_1. Además, será posible derivar todo un nuevo conjunto de consecuencias T_3 de la conjunción de h_1 y h_2, de modo que al final cada uno de los supuestos de la teoría habrá ganado contrastabilidad: el número total de consecuencias empíricamente controlables será ahora la unión de los conjuntos T_1, T_2 y T_3 (cf. fig. 15.11). La contrastabilidad –y, por lo tanto, el apoyo empírico o la debilitación empírica de los supuestos iniciales– ha aumentado porque las hipótesis mismas se han hecho más ricas por su teorificación. Consiguientemente, la construcción de teorías, lejos de ser una mera exigencia de economía, es necesaria para enriquecer el acervo de las hipótesis con nuevas consecuencias deductivas de su conjunción y para mejorar su contrastabilidad empírica.

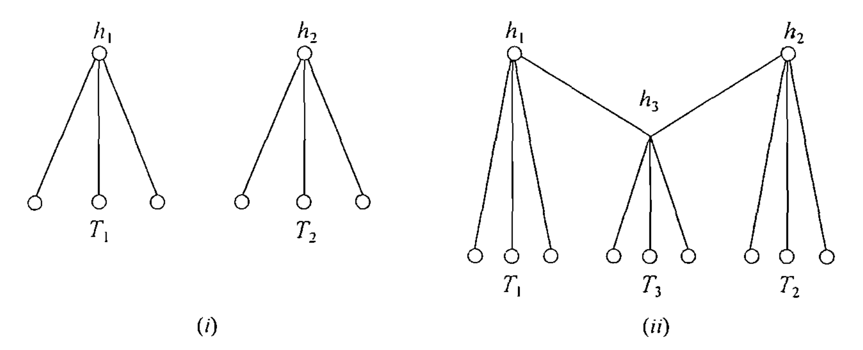


FIGURA 15.11. La contrastabilidad de dos hipótesis, h_1 y h_2, antes (*i*) y después (*ii*) de haberse fundido en una sola teoría; h_3 se ha deducido de h_1 y h_2, conjuntamente, e implica T_3, que es un nuevo conjunto de consecuencias.

Supongamos que se nos presenta una teoría y se nos pide que la sometamos a contrastaciones empíricas. ¿Nos precipitaremos al laboratorio o al campo relevante, según los casos? La respuesta debe ser negativa: hay unas cuantas operaciones conceptuales que van por delante de las empíricas. Primera: antes de plantear la contrastación de una teo-

ría tenemos que asegurarnos de que es una teoría en sentido propio, esto es, un sistema hipotético-deductivo, y no un mero montón de conjeturas: si no sabemos si una determinada proposición de la teoría se sigue de otra, tampoco podemos saber cuáles son los supuestos que nuestras contrastaciones hacen probables o improbables. Si no hay tal organización lógica y, sin embargo, el conjunto dado de conjeturas parece merecedor de una contrastación, debemos intentar construir una teoría partiendo de algunas de las hipótesis dadas, o bien contrastarlas una después de otra. En el caso del psicoanálisis se ha propuesto alguna vez un procedimiento parecido, pero el proyecto no se ha llevado a cabo nunca. Segunda: tenemos que asegurarnos de que la teoría es en principio empíricamente *contrastable*. Caso de no serlo, debemos afinar las vagas conjeturas y eliminar los supuestos *ad hoc* que hacen a la teoría insusceptible de refutación o prácticamente tal. De no hacerlo así, todo dato imaginable confirmará la teoría. Un alto grado de confirmación no es estimable más que si es genuinamente a posteriori, o sea, si la teoría no se construye para satisfacer toda circunstancia posible. Tercera: debemos darnos cuenta de cuáles son los *presupuestos* de la teoría, porque podría ser que éstos, y no la teoría misma, necesitaran contrastación, o que ya hubieran sido descartados por contrastaciones anteriores. En todo caso, hay que ser muy cuidadosos en esto, porque ningún enunciado factual, ya se presente como presupuesto, ya lo haga como hipótesis a contrastar, es necesariamente totalmente verdadero. Cuarta: tenemos que reunir las consecuencias contrastables que deseamos confrontar con datos empíricos, o sea, debemos *derivar* efectivamente algunas consecuencias lógicas directamente contrastables y, sin embargo, teoréticas (no-observacionales), t_i, de los supuestos iniciales de nuestra teoría. Esto exigirá no sólo deducción, sino también la adopción de ciertos datos empíricos obtenidos de informaciones previas, mediciones o experimentos. También puede exigir la introducción de hipótesis simplificadoras que posibiliten la deducción y/o la aplicación a casos especiales. *Si la teoría es matemáticamente compleja, las simplificaciones (por ejemplo, linealizaciones) pueden ser tales que se produzca una *nueva teoría*, más débil, pero contrastable, lo cual significa que la contrastabilidad no puede identificarse con la fuerza lógica (cf. sec. 5.7). Por tanto, las contrastaciones empíricas serán relevantes para la teoría más débil. Si le son desfavorables, podemos elegir entre rechazar la inicial teoría "exacta" o alguna de las brutales suposiciones simplificadoras. Sólo si se consigue mejor concordancia con la experiencia, tras una gradual relajación de las hipótesis simplificadoras, sospecharemos que la teoría "exacta" es parcialmente verdadera.* Quinta y última: debemos *traducir* las consecuencias contrastables t_i por enunciados semiempíricos t_{-i} *, susceptibles de confrontación con datos e_j, igualmente traducidos a elementos de evidencia e_j* (cf. sec. 8.4). Recordemos, en efecto, que incluso las consecuencias de más bajo nivel de una teoría, por ser enunciados teoréticos, refieren al modelo ideal de la teoría, y exigen ciertos cambios semánticos antes de poder confrontarse con datos empíricos: por ejemplo, habrá que interpretar las probabilidades teoréticas como frecuencias computables.

Luego de haber recorrido ese estadio preliminar, podemos pasar a la contrastación empírica propiamente dicha. El proceso de contrastación empezará con el planeamiento o proyección, y terminará con la consecución de un cuerpo E de evidencia cribada relevante para las consecuencias contrastables de la teoría, T (de hecho, relevantes a través de traducciones E^* y T^* a un común lenguaje semiempírico). El acto final consistirá en

comparar esos dos conjuntos de proposiciones con la intención de emitir un dictamen sobre T y así, indirectamente, sobre toda la teoría; o con la intención de juzgar E a base de un T previamente corroborado. El proceso de contrastación de teorías puede, pues, analizarse en tres estadios principales: elaboración teorética, proyección y ejecución de contrastaciones, e inferencia. Con algún mayor detalle formulamos el siguiente esquema, basado en el diagrama 8.15 de la sec. 8.4 y en la discusión de la sec. 15.4.

1. *Estadio teorético: obtención de T*
   1*a* *Presupuestos*, P, de la teoría. (La contrastación no los pone en tela de juicio, pero son criticables antes y después de ella.)
   1*b* *Supuestos específicos*, A, de la teoría: axiomas y premisas auxiliares que refieren al modelo de la teoría. (Éste es el objeto indirecto de la contrastación.)
   1*c* *Datos*, e_i, de experiencia pasada y/o presente, formulados en el lenguaje de la teoría. (La contrastación no los pone tampoco en duda.)
   1*d* *Deducción* de consecuencias contrastables, t_i:
   $\{P, A, e_i^*\} \vdash t_i, \qquad i = 1, 2, \ldots, m < \infty$ [15.5]
   Las consecuencias efectivamente derivadas, t_i, son el objeto directo de la contrastación; son en número finito, aunque el total de las consecuencias posibles constituye un conjunto infinito.
   1*e* *Interpretación* de las t_i en un lenguaje semiempírico, o sea, como evidencias potenciales:
   $I(t_i) = t^*, \qquad \{t_i \mid 1 \leq i \leq m\} = T^*$ [15.6]
   Esas traducciones exigen a menudo el uso de una teoría auxiliar, y pueden ser criticadas mediante contrastación adecuada.

2. *Estadio empírico: obtención de E*
   2*a* *Presupuestos teoréticos*, Q, *de los procedimientos empíricos*, o sea, fragmentos de teorías incorporados a la proyección, la ejecución y la interpretación de la contrastación.
   2*b* *Enunciados observacionales* (protocolos), e_j.
   2*c* *Interpretación de las proposiciones observacionales* a base de la teoría Q: deducción de evidencia e_j^* a partir de los protocolos o datos e_j, en conjunción con la teoría Q y con reglas de interpretación, I:
   $\{Q, I, e_j\} \vdash e_j^*, \qquad j = 1, 2, \ldots, n < \infty, \qquad \{e_j \mid 1 \leq j \leq n\} = E^*$ [15.7]
   Recuérdese que siempre que hay en juego magnitudes, e_j^* no se identifica con t_j^*, ya por el hecho de que la primera contiene una referencia al error experimental, la cual está ausente de t_j^*.

3. *Inferencia: confrontación de T^* con E^* y decisión acerca de T*
   Si la evidencia recogida, E^*, es relevante para T^*, son posibles dos casos: o bien E^* y T^* concuerdan, o bien no concuerdan.
   3*a* *Caso 1: T^* concuerda con E^**, o sea, la evidencia es compatible con las consecuencias de la teoría (dentro de los límites del error experimental aceptado). Si t_i^* queda empíricamente confirmada, consideramos a t_i como igualmente confir-

mada, aunque esta última, hablando estrictamente, no se ha sometido a contrastación, puesto que refiere a un modelo ideal, y no a experiencia. Consideramos luego la fuente de t_1, a saber, la fórmula [15.5] y nos damos cuenta de que la confirmación de t_i no tiene gran valor, porque (*i*) partiendo de una conclusión verdadera no podemos retrotraernos inequívocamente a una premisa verdadera, sino, a lo sumo, a una premisa posible, y (*ii*) una consecuencia verdadera puede derivarse de un conjunto que contenga proposiciones falsas, puesto que, para toda proposición p, verdadera o falsa, vale $\{p, q\} \vdash q$. Por eso lo que puede inferirse de la concordancia de E^* con T^* es sólo (*i*) que la evidencia E^* es *relevante* para la teoría, y (*ii*) que la teoría es *compatible* con esa evidencia. Como eso es lo más que podemos esperar de una contrastación empírica, consideraremos la confirmación como un apoyo de la teoría, no como una prueba de la misma.

3*b* *Caso 2:* T* *no concuerda con* E^*, o sea, la discordancia entre las proyecciones y los datos rebasa el margen de tolerancia previamente contenido. (La discrepancia puede ser total o parcial: un subconjunto $E^{*\prime} \subseteq E^*$ puede discrepar del subconjunto correspondiente $T^{*\prime} \subseteq T^*$: Se abren entonces dos modos de operar: se aceptan las evidencias discrepantes como verdaderas o se rechazan considerándolas suspectas.

Subcaso 2*a: Se acepta la evidencia no confirmadora* E^*, basándose en que está bien sostenida por otra pieza de conocimiento: $E^{*\prime}$ puede haberse sometido a prueba independientemente, mediante otra técnica diferente, o puede ser compatible con otra teoría previamente aceptada. Por eso ponemos en duda los teoremas t_i incompatibles con la evidencia correspondiente, lo cual nos hace dudar también del entero conjunto $\{P, A, e_i^*\}$ de las premisas que implican t_i (cf. fórmula [15.5]). Sigue sin ser posible inferir nada acerca de los supuestos específicos, A, de la teoría, que son los que deseamos contrastar: el error puede encontrarse en los presupuestos P o en los datos empíricos e_i o en su traducción e_i^* utilizada en la derivación de t_i. Dicho de otro modo: la refutación de unas consecuencias de una teoría no tiene por qué indicar necesariamente la falsedad total de ésta: la culpa puede ser de los presupuestos o de la información empírica con que se ha alimentado la teoría. ¿Cómo podemos proceder a identificar al culpable? Volveremos dentro de poco a ocuparnos de este punto.

Subcaso 2*b*: *Se rechaza la evidencia no-confirmadora*, E^*, con base en la hipótesis estratégica de que esa evidencia se debe a un error de proyección, ejecución o interpretación de los procedimientos empíricos. Los datos restantes de esa misma serie de observaciones (o sea, el conjunto $E^* - E^{*\prime}$) se aceptan al mismo tiempo; o bien, si son anómalos y también suspectos (o sea, por ejemplo, si $E' = E$), se rechazan todos y se repite toda la observación, toda la medición o todo el experimento, acaso con un nuevo proyecto. Esta conducta –el rechazar los datos "anómalos"– no es infrecuente, y se decide siempre que la teoría en contrastación ha superado ya contrastaciones de la misma categoría, mientras que el dispositivo de contrastación se está ensayando por vez primera. En resolución: hay veces en que es la teoría la que contrasta el

experimento, aparte de intervenir en su planteamiento y su interpretación. En esas ocasiones no puede llegarse a ninguna conclusión sobre la teoría contrastada, puesto que prácticamente no ha sido puesta en discusión: y contrastar una teoría es ponerla en duda.

Los subcasos 2*a* y 2*b* agotan obviamente la clase de los desacuerdos entre las proyecciones teoréticas y los datos. Y, salvo para casos-límite que exijan el perfeccionamiento de los procedimientos empíricos, la concordancia o la discordancia con la experiencia es todo lo posible. En resumen: hemos considerado todos los casos posibles. Pero entonces nos encontramos con la deprimente consecuencia de que ni la confirmación de las consecuencias contrastables de una teoría ni su refutación pueden obligarnos a sostener *concluyentemente* una teoría ni a rechazarla *concluyentemente*. Con sólo experiencia, no podemos más que *acumular evidencia* en pro o en contra de una teoría. En el primer caso, conseguimos confirmación empírica, o refuerzo (caso 1). La desconfirmación empírica se considerará contundente, dentro del alcance de la contrastación que esté en curso, si la evidencia desfavorable se apoya a su vez en un cuerpo de conocimiento bien contrastado. (Frecuentemente se construyen nuevas teorías para dar razón de datos que entraron en conflicto con anteriores teorías.) Incluso así, la evidencia negativa no indicará inequívocamente cuáles son los cónceptos supuestos defectuosos de la teoría (subclase 2*a*). Si la evidencia misma es suspecta (subcaso 2*b*), entonces el asunto quedará aún menos definitivamente resuelto.

La evidencia favorable es inconcluyente, y la evidencia desfavorable no es mucho más concluyente en el caso de las teorías, a diferencia de lo que ocurre en el caso de las hipótesis sueltas, que no se enfrentan con experiencia apoyada por un cuerpo de supuestos teoréticos más o menos importante. La confirmación empírica autoriza a la teoría a dar un paso más adelante, mientras que la refutación empírica la hace retroceder algunos pasos: pero eso es todo lo que dan de sí ambas. Parece así que lleguemos a un callejón sin salida: o suspendemos el juicio sobre el valor veritativo de las teorías científicas, o adoptamos un criterio convencionalista de aceptación de teorías, como la simplicidad de un tipo u otro, o un criterio pragmatista, como la utilidad práctica o el atractivo estético. La primera solución equivale a liquidar la teorización, puesto que arrebata a esta actividad su motivación, a saber, la obtención de la representación conceptual más verdadera posible de la realidad. Y la segunda solución pasa por alto la cuestión importante: '¿Hasta qué punto son verdaderas nuestras teorías?' y no da ninguna indicación sobre el modo de mejorar su adecuación a los hechos. Mas, por suerte, aunque la situación es compleja, no llega a tener esa gravedad.

La conclusión escéptica que afirma la imposibilidad de atribuir valor veritativo a ninguna teoría científica se basa en dos presupuestos que están muy lejos de poderse considerar definitivamente establecidos, o ni siquiera razonablemente: (*i*) que lo único que interesaría sería una prueba *concluyente*, definitiva, de la verdad *completa* o la completa falsedad de nuestras teorías; (*ii*) que la experiencia es un criterio *absoluto* y, particularmente, un criterio independiente de toda teoría. El primer supuesto es falso: las teorías no se prueban o demuestran, sino que, por así decirlo, se ponen a prueba, y lo más que pretendemos es poder mostrar temporalmente que la teoría dada en cada caso es parcial-

mente verdadera. Ése es el *summum bonum* en el campo de la estimación de teorías, como muestran la historia de la ciencia y el análisis de la construcción de teorías (cf. sección 8.1). El supuesto de que la experiencia es un criterio absoluto que mide las teorías se presentó en la anterior argumentación a través de las siguientes hipótesis metodológicas tácitas: *a*) que los presupuestos P de una teoría contrastada son objeto de la contrastación, y *b*) que las contrastaciones empíricas son la única clase de contrastación de las teorías factuales. Mostraremos que esos dos supuestos son falsos y que, por tanto, no estamos obligados a aceptar una actitud escéptica total frente a la posibilidad de estimar el valor veritativo de las teorías científicas.

Cada vez que se pone en tela de juicio una hipótesis, t_i, hay que tomar como dado un conjunto de hipótesis y datos, o sea, hay que tomarlo, al menos provisionalmente, como si fuera verdadero: de no ser así, no habría criterio con el cual contrastar la hipótesis en cuestión. Dicho de otro modo: no es posible poner en duda ni criticar una proposición dada si no es a base de ciertos conjuntos de proposiciones que, para fines de esa crítica, se tratan *como si* fueran totalmente verdaderas, aunque en otra ocasión puedan discutirse ellas también. Según esto, nunca podemos poner en tela de juicio la totalidad de un cuerpo de conocimiento de una sola vez: la crítica científica es siempre por piezas y gradual. Ni siquiera las revoluciones científicas son totales.

Eso tiene la siguiente consecuencia para la estimación de la discordancia entre una proyección teorética y la correspondiente evidencia empírica (subcaso 2*a* de antes). Para derivar t_i a partir de P, A y e_i^* (cf. fórmula [15.5]), hemos afirmado independientemente P y e_i^*; consiguientemente, la contrastación empírica no afecta a la totalidad de las premisas, sino sólo a los *supuestos específicos*, A, de la teoría. En particular, la contrastación empírica no afecta a las fórmulas lógicas o matemáticas presupuestas por la teoría, pero no introducidas por ella: si realmente ellas también se pusieran en duda, no serían *pre*supuestos. Consiguientemente, si se confirma t_i puede declararse que los supuestos específicos A han recibido un nuevo apoyo, aunque no es lícito afirmar que sean verdaderos; y si t_i queda refutado sobre la base de una buena evidencia, A queda eliminado sin arrastrar necesariamente a P y e_i^* en su caída. En resolución: en el subcaso 2*a* (evidencia buena y desfavorable) tenemos el siguiente esquema de inferencia:

$$\frac{\begin{array}{cc} \vdash P, \quad \vdash e_i^* & \dfrac{-t_i^*}{-t_i} \\ \{P, A, e_i^*\} \vdash t_i & \end{array}}{-A}$$

Ese esquema es una refutación concluyente del conjunto de las premisas específicas. Podemos, por tanto, eliminar teorías falsas con la condición de que no se ponga en tela de juicio el cuerpo de las premisas (presupuestos y datos) usadas para derivar la falsedad en la experiencia de que se trate, aunque ese conjunto pueda perfectamente criticarse en el curso de otra experiencia. Además, por el procedimiento descrito no podemos *identificar* los miembros más falsos del conjunto de supuestos A. El descubrimiento del (los) culpable(s) es, a pesar de ello, posible por medio de otras *contrastaciones independientes* –o sea, contrastaciones que contengan todos los supuestos específicos menos el suspecto– y también, caso de ser posible, por medio de contrastaciones que no conten-

gan más que el supuesto suspecto y ninguno de los demás del conjunto A. El mismo procedimiento puede aplicarse en principio y sucesivamente a cada miembro del conjunto de las premisas específicas, hasta identificar todos los supuestos falsos. Baste eso por lo que hace a la refutación.

En el caso de la confirmación no puede llegarse a conclusiones tan tajantes. Si se confirma la teoría –o, si se prefiere decirlo así: en el caso de que duras contrastaciones no consigan refutar la teoría–, no podemos sin más aceptarla como verdadera, sino que tenemos que someterla a contrastaciones no-empíricas como la de la continuidad con el cuerpo del conocimiento y la referente a la capacidad de prever casos inesperados (afirmabilidad). Se considerará *–pro tempore–* más verdadera la teoría que, tras haberse confirmado empíricamente, supere del mejor modo una batería de contrastaciones no empíricas que nos ocupará en la sección próxima.

En conclusión: generalmente es posible conseguir conclusiones claras, aunque no *definitivas* sobre el valor veritativo de cualquier teoría científica, o de parte de ella, a condición de que no se discutan algunas otras teorías o partes de ellas, y de que las contrastaciones empíricas se complementen con ciertas contrastaciones no-empíricas. (Muy a menudo se usan algunas partes de la teoría en la proyección de experimentos tendentes a poner a prueba otras partes de la teoría: en tales casos es claro que no se puede intentar contrastar la teoría entera a la vez.) Además, aunque las teorías –a diferencia de las conjeturas sueltas– se enfrentan como totalidades con la experiencia, es posible analizar esas totalidades e identificar sus componentes groseramente falsos. Esto elimina la opinión de que las teorías científicas son totalmente convencionales (es decir, ni verdaderas ni falsas, sino convenientes) y, por tanto, inasequibles a los ataques de la experiencia.

Esto completa nuestra exposición de la contrastación empírica de las teorías. Para que no quede la impresión de que las contrastaciones empíricas son meros medios para estimar los valores veritativos de las teorías, observaremos que independientemente de que se consigan o no los objetivos de una contrastación empírica, siempre se ganan algunos resultados laterales. En primer lugar, es posible que la teoría se haya precisado más, ya porque se haya hecho más aguda su formulación, ya porque se haya ilustrado. En segundo lugar, es posible que para contrastar sus consecuencias se haya elaborado la teoría con mayor detalle. En tercer lugar, el hiato entre el modelo teorético y su referente real puede haberse dibujado con mayor precisión, esto es, el dominio de adecuación empírica de la teoría puede haber quedado delimitado con mayor exactitud. En cuarto lugar, es posible que se hayan inventado o refinado técnicas de contrastación en el curso del intento. En quinto lugar, pueden haber surgido hechos nuevos, descubiertos en el curso de la contrastación. Algunos de esos subproductos pueden resultar al final más importantes que la teoría o que los resultados empíricos. Ninguna contrastación de teorías practicada con detalle será probablemente estéril, aunque no dé más resultado que la falsación de la teoría contrastada.

Problemas

15.6.1. Examinar la filosofía de la ciencia profesada por C. Huyghens tal como se expone en el Prefacio a su *Treatise on Light*, 1690; Londres, Macmillan, 1912, pp. VI-VII: "...mientras que los Geómetras prueban sus Proposiciones mediante Principios fijos e incontestables, aquí [en la física] los Principios se verifican por las conclusiones que se obtienen de ellos; pues la naturaleza de estas cosas no permite que se haga de otro modo. Siempre es posible conseguir así un cierto grado de probabilidad, que muchas veces es poco menos que la demostración completa. Sea prueba de ello el caso en que las cosas demostradas mediante los Principios supuestos corresponden perfectamente a los fenómenos que el experimento ha puesto en observación; especialmente cuando hay gran número de ellos, y principalmente cuando se puede imaginar y prever nuevos fenómenos que deberían seguirse de las hipótesis que uno utiliza, y cuando se descubre que en eso el hecho corresponde a nuestra previsión."

15.6.2. Examinar el artículo de W. H. Sewell, "Some Observations on Theory Testing", en *Rural Sociology*, *21*, 1, 1956, considerando la necesidad de dar nueva formulación a las vagas conjeturas psicoanalíticas (que el autor llama teorías) antes de someterlas a contrastación. *Problema en lugar de ése*: Todo lo que puede construirse por el momento en el terreno del estudio de los fluidos es una teoría de los fluidos perfectos o cuasi-perfectos. Pero una tal teoría no puede contrastarse, precisamente porque no hay líquidos perfectos ni cuasi-perfectos. ¿Qué hacer en esa situación?

15.6.3. El axioma central de la mecánica de Newton, a saber, la ley "$f = ma$", no se contrastó directa e independientemente hasta un siglo más tarde, cuando G. Atwood proyectó, construyó y manejó su máquina. ¿Cómo entonces pudo considerarse verdadera la mecánica de Newton durante tanto tiempo antes, e incluso verdadera *a priori*? *Problema en lugar de ése*: ¿Puede interpretarse toda evidencia desfavorable como error experimental?

15.6.4. La teoría corpuscular de la luz (Newton) puede resumirse en los siguientes axiomas:

*A*1 La luz consta de corpúsculos que satisfacen las leyes de la mecánica.

*A*2 Los corpúsculos de la luz sufren la atracción de las partículas que constituyen los medios transparentes.

Partiendo de *A*1 se obtiene el teorema verdadero de la propagación de la luz en el vacío. De *A*1 y *A*2 se sigue que la luz se desvía al pasar muy cerca de estrellas (verdad), y que la velocidad de la luz es mayor en medios transparentes que en el vacío (falso). Dibujar el árbol lógico de estas inferencias e indicar qué experimentos cruciales podrían refutar la teoría, a pesar de tener ésta algunas consecuencias verdaderas. *Problema en lugar de ése*: Examinar la situación de la actual teoría del aprendizaje, en la cual modelos (teorías) discrepantes dan razón de los mismos datos aproximadamente. En particular, mostrar cómo se contrastan los varios supuestos y averiguar si se ponen también a prueba con otras piezas de conocimiento (por ejemplo, con la fisiología). Cf. S. Sternberg, "Stochastic Learning Theory", en R. D. Kuce, R. R. Bush y E. Galanter, *Handbook of Mathematical Psychology*, Nueva York, Wiley, 1963, vol. II, pp. 72 y 102-116.

15.6.5. Un experimento crucial es aquel que nos permite obtener una inferencia concluyente respecto de las pretensiones de verdad de pares de teorías rivales. ¿Son los experimentos cruciales para la aceptación, o más bien para la recusación de construcciones teoréticas? *Problema en lugar de ése*: ¿Durante cuánto tiempo quedan las teorías bajo vigilancia (como diría el biólogo P. Medawar)?

15.6.6. Examinar las siguientes tesis de P. Duhem: (*i*) no existen experimentos cruciales, porque lo que se somete a contrastación empírica son teorías enteras, no hipótesis aisladas; (*ii*) en el caso de evidencia desfavorable, es posible modificar arbitrariamente cualquier constituyente del cuerpo teorético contrastado, y, consiguientemente, (*iii*) las teorías son convenciones que pueden manejarse *ad libitum*. Cf. P. Duhem, *La théorie physique*, París, Rivière, 1914, parte II, cap. 6; W.

V. O. Quine, *From a Logical Point of View*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1953, cap. 2 (trad. castellana, Ariel, Barcelona); A. Grünbaum, "The Duhemian Argument", *Philosophy of Science*, 27, 75, 1960, y *Philosophical Problems of Space and Time*, Nueva York; Alfred A. Knopf, 1963, pp. 106-115; M. Bunge, *Filosofía de la física*, cap. 10, Barcelona, Ariel, 1978.

15.6.7. Supongamos que se contrastan dos teorías rivales que, como tan frecuentemente ocurre, tienen en común algunos supuestos. Supongamos, además, que una de las teorías queda definitivamente refutada, mientras que la otra se confirma. ¿Cómo separar en este caso el grano de la paja? Indicación: Simplificar el problema tratando el caso siguiente:

$$T1 = \{A1, A2\}, \qquad T2 = \{A2, A3\}.$$

15.6.8. Supongamos que en el caso del problema anterior resulta confirmado $T2$. ¿Podemos entonces afirmar con confianza $A2$ y $A3$, o más bien debemos seguir sometiéndolos a prueba? ¿O conviene, por último, trabajar con ellos, pero de un modo crítico? *Problema en lugar de ése*: ¿Es posible contrastar una teoría científica de un modo que la *agote*, o sea, es posible someter cada una de sus fórmulas –o, al menos, cada una de sus consecuencias del nivel más bajo– a efectivas contrastaciones empíricas? Si esa contrastación completa no es posible, ¿qué decir de la situación?

15.6.9. La contrastación o el experimento de laboratorio o de campo aplicado a cualquier teoría factual presupone (utiliza) por lo menos fragmentos de geometría física, óptica, mecánica y termodinámica. Obtener de ello algunas enseñanzas, porque en este caso parece que tenga razón la Duquesa de Alicia. *Problema en lugar de ése*: Según nuestra exposición de la contrastación de teorías, en la contrastación empírica de una teoría factual intervienen una o más teorías (auxiliares de la contrastación. Cf. el texto de esta sección y la sección 8.4). Comparar esa descripción con la explicación, más difundida, según la cual la contrastación de teorías exige la sustitución de los conceptos teoréticos por conceptos observacionales, o sea, una desteorización, y no el enriquecimiento de la teoría que se está contrastando.

15.6.10. Discutir la tesis de que la evidencia empírica en favor de la percepción extrasensorial es aplastante, de tal modo que lo único que queda por hacer es sistematizar esos datos en una teoría. Indicación: Distinguir entre informes de observación, e, y evidencias, e^*. *Problema en lugar de ése*: Todo sistema concreto tiene cierto número de rasgos, y sólo una parte de ellos queda cubierto por las teorías correspondientes. Consiguientemente, toda teoría factual dará consecuencias, o bien incontrastables o bien falsas en las circunstancias reales, a menos de complementarla mediante fragmentos de otras teorías que no rivalicen con ella. ¿Da esto un apoyo a la tesis del carácter absoluto de la experiencia y de su derecho a juzgar de la teoría sin ayuda de teoría?

15.7. EXAMEN DE TEORÍAS

Hay varios modelos del universo compatibles con los datos astronómicos de que disponemos, datos que son escasos e imprecisos: a tenor de lo que hoy sabemos, el universo puede ser espacialmente finito o infinito, el espacio puede ser curvo o no serlo, etc. En la física atómica y nuclear encontraremos partidarios de una teoría que no dé más información que la suministrada por el experimento, y otros especialistas proponen la introducción de otras construcciones hipotéticas referentes a propiedades inobservables. En meteorología nos encontramos con la opinión de que el tiempo atmosférico es resultado de la interacción de un gran número de factores, por lo que pueden despreciarse variaciones

pequeñas de cualquiera de esas variables; pero existe también la opinión contraria de que la atmósfera es un sistema inestable, de tal modo que cualquier pequeño factor puede, por ejemplo, desencadenar la lluvia. En biología se dan dos clases de teorías de la mortalidad: las que suponen que el lapso de la vida del individuo está genéticamente determinado y las que sostienen que la muerte es el resultado de una larga secuencia acumulativa de pequeñas lesiones; y así sucesivamente. Difícilmente habrá algún campo científico en el que domine sin discusión una teoría importante o, por lo menos, en el que no sean concebibles otras teorías rivales. Y esa rivalidad será una fuente de progreso mientras algunas de esas teorías no se institucionalicen en escuelas dogmáticas, a imitación de las filosofías de escuela.

Dos teorías científicas pueden considerarse *rivales* si tratan de modo diferente el mismo tema o sistema de problemas (mismidad aproximada). Si, además, dan de sí prácticamente las mismas consecuencias o proyecciones contrastables, se dice que las dos teorías son *empíricamente equivalentes*, por mucho que difieran conceptualmente. Las teorías empíricamente equivalentes no tienen por qué ser recíprocamente compatibles como lo son las varias representaciones cartográficas del globo terrestre: si fueran compatibles, no serían más que formulaciones diferentes de la misma teoría, o sea, serían también *conceptualmente equivalentes*. Las teorías que son empíricamente equivalentes pero conceptualmente inequivalentes pueden construirse casi a voluntad. Así, por ejemplo, toda teoría física en la que se presente el concepto de longitud presupone alguna geometría métrica, generalmente la euclídea. Es posible aproximarse al espacio plano retratado por ésta por medio de infinitos espacios curvos tratados como otras tantas geometrías riemannianas: para curvaturas pequeñas o para volúmenes pequeños no habrá diferencias empíricamente registrables entre las correspondientes teorías físicas, lo que quiere decir que, en esas condiciones, todas ellas serán empíricamente equivalentes. En todo caso, las discusiones sobre teorías empíricamente equivalentes suelen ser las más vacías, algo así como las luchas entre sectas de una misma religión: en los dos casos se trata de salvar el mismo conjunto de individuos.

La experiencia es de mucho peso, y acaso decisiva, en un punto: la estimación de teorías empíricamente *inequivalentes*. Pero ¿cómo proceder en presencia de dos o más teorías empíricamente equivalentes? Una conducta posible consiste en esperar y ver más evidencia empírica: si las teorías son realmente diferentes, si no son meramente dos modos equivalentes de decir lo mismo, puede presentarse una situación en la cual al menos una de las dos quede descalificada. Pero no bastará con eso: el partidario de la teoría más defectuosa empíricamente puede recurrir a reforzarla retocando alguno de sus supuestos iniciales o introduciendo hipótesis *ad hoc* para salvar aquéllas (cf. sec. 5.8). Y como este proceso puede continuarse indefinidamente, parece necesario apelar a alguna batería de *contrastaciones no-empíricas*, o sea, a contrastaciones adecuadas para establecer propiedades distintas de la concordancia con el hecho observado; tales contrastaciones son necesarias cuando dos o más teorías concuerdan con la misma perfección, o casi con la misma perfección, con la información empírica.

Averiguar cuáles son esas deseables propiedades de las teorías científicas no es cosa que pueda hacerse con trabajo meramente lógico: tenemos que utilizar la historia de la ciencia para descubrir los criterios *efectivamente usados* en la estimación de las teorías

científicas. Pero incluso eso es insuficiente, pues algunos de esos criterios pueden ser malos. Con objeto de seleccionar aquellos que son deseables para el progreso del conocimiento tenemos que someterlos a un examen lógico y metodológico. Empecemos por echar un vistazo a algunas importantes controversias científicas.

Nuestro primer ejemplo será la controversia Ptolomeo-Copérnico, o geostatismo-heliostatismo. Según filósofos eminentes, esta disputa no se ha resuelto todavía, ni lo será nunca, porque los dos correspondientes "sistemas del mundo" son equivalentes: la única diferencia entre ellos se referiría a la complejidad y a la conveniencia respectivas. Los inductivistas aprovechan esta supuesta equivalencia como dato en favor de la simplicidad como criterio decisivo entre teorías rivales: los convencionalistas afirman que el hecho sostiene su opinión de que la búsqueda de la teoría más simple compatible con la experiencia debe sustituir la búsqueda de la teoría más verdadera. La imagen heliostática de los movimientos de los planetas es, se dice, preferible a la explicación geostática simplemente porque simplifica la astronomía, lo cual no es verdad, puesto que la primera doctrina está en conflicto con el sentido común (por el hecho de contener conceptos trasempíricos como "órbita planetaria") y utiliza refinadas hipótesis de la dinámica y sutiles instrumentos de cálculo, como la teoría de las perturbaciones. De hecho, la equivalencia entre las dos explicaciones es muy limitada: sólo cubre la geometría del movimiento de los planetas, en el sentido de que puede adoptarse cualquiera de las dos teorías para dar razón de las posiciones aparentes del Sol y los planetas. En todos los demás respectos, las dos teorías son inequivalentes, como sugiere la siguiente tabla sinóptica:

"Sistema" ptolemaico	*"Sistema" copernicano* (una vez inserto en la mecánica newtoniana)
Combinación convencional de ciclos, epiciclos, excéntricas y otras variables intermedias.	Ecuaciones del movimiento real
	↓
↓	Soluciones (referidas al Sol)
	↓
Órbitas observables	Órbitas observables (referidas a la Tierra)

Enumeremos las diferencias más notables entre los dos "sistemas del mundo", porque cada una de ellas puede sugerir un criterio para el examen de las teorías científicas. Primera: *sistemicidad.* El sistema heliostático no trata cada planeta por separado, como hace el geostático, sino que introduce el concepto físico de sistema solar y consigue así unidad conceptual y metodológica; en cambio, el "sistema" de Ptolomeo era en realidad un conjunto de teorías, una para cada planeta, de tal modo que si una de ellas resultaba falsa se podía corregir sin modificar las demás. Segunda: *consistencia externa.* Mientras que el "sistema" ptolemaico está aislado del resto de la ciencia, el sistema heliostático es continuo (y no sólo compatible con) la dinámica, la teoría de la gravitación y la teoría de la evolución de las estrellas, en el sentido de que sus rasgos principales no se toman como dados, sino que pueden explicarse –detalladamente unos, en esquema los otros– por dichas teorías. En resumen: el sistema heliostático está inserto en la ciencia, mientras que el "sistema" ptolemaico no era coherente ni siquiera con la física aristotélica. Tercera: *potencia expli-*

cativa y *predictiva.* El sistema heliostático explica hechos que el "sistema" geostático ni siquiera conoce, como las estaciones de la Tierra, las fases de los planetas y satélites, y aberración de la luz, etc. Cuarta: *representatividad.* Lejos de ser un mero expediente simbólico para unir observaciones –como querrían las concepciones convencionalista y pragmatista de la teoría científica–, el sistema heliostático es un modelo visualizable de un fragmento de realidad, y fue concebido por Copérnico, Bruno, Galileo y otros como una imagen verdadera del sistema solar; Quinta: *fuerza heurística.* El sistema heliostático estimuló nuevos descubrimientos en la mecánica, la óptica y la cosmología. Por ejemplo, posibilitó la investigación que dio de sí las leyes de Kepler, cuya explicación fue a su vez uno de los grandes motivos de la dinámica newtoniana, cuyas deficiencias desencadenaron a su vez ulteriores desarrollos. Sexta: *contrastabilidad.* Al no permitirse refugios sin fundamento mediante el añadido de *hipótesis ad hoc* inventadas para salvar la teoría en sus discrepancias con la observación, el sistema heliostático se ofrece a su refutación por datos empíricos. (Un modelo que no pretenda recoger más que datos puede ajustarse y reajustarse indefinidamente; en cambio, un modelo que recoja hechos no será reajustable de ese modo.) Además, el sistema heliostático se ha corregido varias veces: primero por Kepler, luego por el descubrimiento de que, a causa de las perturbaciones recíprocas de los planetas, las órbitas reales eran más complejas que las elipses de Kepler y hasta que las curvas de Ptolomeo. Séptima: *consistencia con la visión del mundo.* La nueva teoría, definitivamente incompatible con la cosmología tradicional, o sea, cristiana, era en cambio compatible con la nueva física, la nueva antropología y la nueva imagen naturalista del mundo. De hecho, el sistema copernicano fue el puente que enlazó finalmente la astronomía con la física; transformó los cielos en un objeto natural –una máquina– y mostró que la Tierra no era la base del mundo, su lugar más bajo, lo cual a la larga reforzó la dignidad del hombre. En resumen: aunque en sus principios las dos teorías era empíricamente equivalentes, con el tiempo fueron explicitándose diferencias empíricas y, desde el primer instante, las dos teorías fueron conceptualmente inequivalentes y se apoyaron en filosofías en conflicto.

Nuestro segundo ejemplo será la batalla sobre la teoría de Darwin acerca del origen de las especies, la cual triunfó de sus dos principales rivales –el creacionismo y el lamarckismo– luego de una lucha dilatada y dura que en algunos suburbios culturales del mundo no ha terminado todavía. El darwinismo no era entonces, ni mucho menos, perfecto, y no recogía los datos mejor de lo que podía hacerlo una teoría que afirmara una evolución dirigida por poderes sobrenaturales; pues para una cómoda teoría de este tipo sobrenaturalista todo dato sería un apoyo y no habría dato negativo. El darwinismo, por el contrario, contenía bastantes supuestos no probados, discutibles o hasta falsos, como "Los rasgos hereditarios resultan de la fusión de las contribuciones de los progenitores por partes iguales", "Las poblaciones naturales son aproximadamente constantes" y "Los caracteres adquiridos, si son favorables, se trasmiten a la descendencia". La teoría no se había contrastado por observación directa, y aún menos mediante experimentación con especies vivas en condiciones de control; hechos tan favorables para Darwin como el desarrollo de líneas de descendencia de bacterias resistentes a los antibióticos, o de insectos resistentes al DDT, o el melanismo industrial de ciertas mariposas, o la concurrencia entre los individuos de poblaciones vegetales densas, no se observaron sino décadas después de la aparición de *The Origin of Species.* La teoría de Darwin era sospechosa-

mente metafórica, pues en parte había sido sugerida por la obra de Malthus sobre la población y la lucha por el alimento en las sociedades humanas. Además, la teoría de Darwin no era inductiva, sino que, como toda teoría auténticamente tal, contenía conceptos trasempíricos. Y por si esos pecados no fueran suficientes para condenar la teoría desde el punto de vista de los cánones metacientíficos que prevalecían en el siglo XIX, el sistema de Darwin era mucho más complejo que sus sistemas rivales: baste con comparar el postulado religioso de la creación especial de cada especie, o los tres axiomas de Lamarck (tendencia inmanente a la perfección, ley del uso y el desuso, herencia de los caracteres adquiridos) con la teoría de Darwin para apreciar la mayor complicación de ésta. La teoría de Darwin era mucho menos afín al sentido común y bastante más complicada, pues contenía, entre otros, los siguientes supuestos independientes: "Una tasa alta de aumento de la población conduce a una presión demográfica", "La presión demográfica tiene como resultado la lucha por la supervivencia", "En la lucha por la supervivencia triunfa el innatamente más dotado", "Los caracteres favorables son hereditarios y acumulativos", y "Los caracteres desfavorables acarrean la extinción".

Los caracteres que aseguraron la supervivencia de la teoría de Darwin a pesar de sus deficiencias reales e imaginarias parecen haber sido los siguientes. Primero: la *consistencia externa*. La teoría, aunque incompatible con la biología y la cosmología tradicionales, era coherente con la nueva geología evolucionista y con la teoría evolucionista del sistema solar. Segundo: *la extensibilidad y la capacidad heurística*. La teoría se exportó fácil, audaz y fecundamente a la antropología física, la psicología, la historia y la lingüística; y se exportó también imprudentemente a la sociología (darwinismo social) y a la ontología (progresivismo de Spencer) Tercero: *la originalidad*. Aunque la idea de evolución era antigua, era nuevo el mecanismo explicativo propuesto por Darwin, y sugería nuevos puntos de partida en todos los campos relacionados, así como relaciones entre otros campos hasta el momento sin conectar. Cuarto: *contrastabilidad*. La teoría de Darwin suponía inobservables (por ejemplo, "presión demográfica", y "evolución"), pero no conceptos inescrutables, como "Creación", "fines", "perfección inmanente", etc. Y no suponía modos de conocimiento acientíficos, como la Revelación o la intuición metafísica. Quinto: *parsimonia de niveles*. Darwin no apelaba a ninguna entidad espiritual para explicar hechos de niveles inferiores, ni tampoco a mecanismos físico-químicos: la evolución se trataba en su propio nivel, el biológico, sin impedir que el estudio considerara al mismo tiempo las raíces presentes en los niveles celular y molecular. Sexto: *consistencia metafísica*. El darwinismo era compatible con el postulado genético –"Nada nace de la nada ni se disuelve en ella"– y con el principio de legalidad, violado, en cambio, por el dogma de la Creación. Pero era incompatible con la metodología inductivista dominante en la época, razón por la cual pareció sospechoso a muchos. Séptimo: *consistencia en cuanto a concepción del mundo*. La teoría era claramente compatible con la visión naturalista, agnóstica, dinamicista, progresiva e individualista de la intelectualidad liberal, que había recibido una profunda impresión ante los recientes cambios sociales y culturales (1789, cartismo, 1848). Esas varias virtudes del darwinismo compensaban de sobra sus deficiencias y permitían pensar que valía la pena corregir sus varios puntos deficientes: así se llegó a su fusión hacia 1930 con la moderna genética, para constituir la teoría sintética de la evolución.

Nuestro tercero y último ejemplo será la teoría del origen de los organismos como eslabones últimos de largas cadenas de reacciones químicas que empiezan con compuestos relativamente simples. Esta teoría está generalmente aceptada aunque no sistematiza ningún gran cuerpo de datos empíricos; además, no ha sido nunca contrastada hasta el momento, aunque ya se han hecho algunos conatos de contrastación. La opinión general es que esa teoría se confirmará un día u otro en el laboratorio, pero la tarea puede consumir generaciones enteras de investigadores dispuestos a arriesgar su tiempo en investigaciones a largo plazo. En cualquier caso, la teoría se acepta no porque tenga un gran apoyo inductivo, sino porque resuelve un problema importante utilizando leyes bien contrastadas de la química, la bioquímica y la biología, y porque se espera que oriente la síntesis de seres vivos en el laboratorio. Las virtudes que compensan la falta de apoyo empírico son en este caso las mismas que inclinaron al principio a muchas personas en favor de la teoría de Darwin: consistencia externa, fecundidad, originalidad, contrastabilidad, coherencia ontológica y compatibilidad con la *Weltanschauung* naturalista dominante en los círculos científicos contemporáneos.

Como puede apreciarse por los ejemplos recién discutidos, hay varios criterios que intervienen en la estimación de las teorías científicas y, particularmente, en la discusión de los méritos y los defectos de sistemas rivales. Es seguro que no todos esos criterios se mencionan explícitamente, por la misma razón, en gran parte, que no se mencionan todos los respectos relevantes en la estimación de los hombres: por ignorancia y por hipocresía. Tal es particularmente el caso a propósito de los rasgos filosóficos de las teorías científicas. Pero si los criterios utilizados en el examen de las teorías fueran siempre explícitos, las disputas sobre los méritos y los defectos de teorías científicas rivales y de programas también rivales de investigación se parecerían menos que hoy a las disputas religiosas y políticas. Como es tarea del metacientífico el revelar los presupuestos, los criterios y las reglas de la investigación científica, convendrá presentar los principales criterios de la estimación de teorías de un modo explícito y ordenado. Los criterios pueden dividirse en formales, semánticos, gnoseológicos, metodológicos y ontológicos. Son:

Criterios formales

1. *Corrección formal*: las fórmulas de la teoría deben ser bien formadas, no arbitrarias.
2. *Consistencia interna*: las fórmulas de la teoría deben ser compatibles unas con otras (cf. sec. 7.6).
3. *Validez*: las derivaciones de la teoría deben seguir lo más exactamente posible los esquemas puestos por la lógica ordinaria (de dos valores) o la matemática.
4. *Independencia*: los conceptos primitivos y los supuestos primitivos de la teoría deben ser independientes (cf. sec. 7.6).
5. *Fuerza*: los supuestos iniciales de la teoría deben ser tan fuertes como lo permita la verdad (cf. sec. 5.7).

Las tres primeras condiciones son inexcusables, mientras que las restantes son desiderata que deben satisfacerse en la medida de lo posible.

Criterios semánticos

6. *Exactitud lingüística*: ambigüedad y vaguedad mínimas (cf. sec. 3.1).
7. *Unidad conceptual*: la teoría debe referir a un universo del discurso bien definido, y sus predicados deben ser semánticamente homogéneos, conexos y cerrados (cf. sec. 7.2).
8. *Interpretabilidad empírica*: la mayoría de los teoremas del nivel más bajo de la teoría deben ser interpretables empíricamente, acaso con la ayuda de otras teorías (cf. sec. 8.4).
9. *Representatividad*: cuanto más representacional o "mecanicista" sea una teoría (cuanto menos puramente fenomenológica), tanto más profundamente rebasará las apariencias, tanto más efectivamente guiará la nueva investigación y tanto más contrastable será (cf. sec. 8.5).

También las tres primeras condiciones de este grupo son imprescindibles. La matematización puede considerarse incluida en la condición 6, aunque también puede citarse separadamente. La representatividad es un desideratum que no debe prohibir la construcción de teorías del tipo de la caja negra, las cuales son indispensables en los estadios iniciales de la teoría y en la tecnología.

Criterios gnoseológicos

10. *Consistencia externa*: compatibilidad con el núcleo (no la totalidad) del conocimiento razonablemente contrastado; si es posible, continuidad con él (cf. sec. 7.6). Este requisito amplía a las teorías la exigencia de fundamentación formulada para hipótesis. Ejemplo: las teorías psicológicas deben ser compatibles con la fisiología y, de ser posible deben utilizar algunos de los resultados de ésta, explícitamente o como presupuestos.
11. *Alcance*: la teoría debe resolver con buena aproximación una parte considerable de los problemas que estimularon su construcción (cf. sec. 9.6). La mejor teoría será la que pueda dar respuesta a las preguntas más ambiciosas. Pero no debe intentar resolver todo problema posible: eso es cosa de la pseudociencia.
12. *Profundidad*: las teorías profundas, con mecanismos fundamentales y básicos, son preferibles, *ceteris paribus*, a sistemas superficiales que no corran el riesgo de afirmar ningún mecanismo inobservable (cf. sec. 8.5). Pero para tener un organismo en desarrollo necesitamos las dos cosas, huesos y piel; la mecánica estadística, por ejemplo, no nos permite prescindir de la termodinámica.
13. *Originalidad*: las teorías audaces, con llamativas (pero no arbitrarias) construcciones de alto nivel, con proyecciones antes inauditas y con capacidad de unificar campos aparentemente inconexos, son más valiosas que los sistemas muy seguros y a ras de tierra (cf. sec. 10.4). Sin duda hacen falta teorías que sistematicen lo ya sabido; pero las más fecundas revoluciones del conocimiento han consistido en la introducción de teorías que, lejos de limitarse a condensar lo sabido, nos obligaron a pensar de modo nuevo, a formular nuevos problemas y a buscar nuevas clases de conocimiento: en definitiva, teorías que eran originales.
14. *Capacidad unificadora*: capacidad de reunir dominios hasta el momento aisla-

dos. Ejemplos: la mecánica newtoniana (unificación de la mecánica terrestre y la mecánica celeste), la teoría electromagnética de Maxwell (unificación de las teorías de la electricidad, el magnetismo y la luz), y la teoría de la utilidad (aplicable a la psicología, la economía y la dirección de empresas).

15. *Potencia heurística*: una nueva teoría debe sugerir o guiar nueva investigación en su mismo campo o en campos vecinos. La fecundidad es a menudo un producto inesperado de la representatividad y de la profundidad, pero, en cambio, no está necesariamente vinculada a la verdad: teorías verdaderas pueden ser estériles por superficiales o sin interés, y teorías falsas pueden ser fecundas por dar lugar a la formulación de problemas interesantes y a la proyección de experimentos instructivos: piénsese en la fecundidad de los modelos mecanicistas de la vida y de la mente, y en la esterilidad de las doctrinas vitalista y espiritualista al respecto.
16. *Estabilidad*: la teoría no debe derrumbarse ante el primer dato nuevo, sino que debe ser capaz de crecer, hasta cierto punto, a lo largo de una misma línea: debe ser capaz de "aprender" de la nueva experiencia que no haya sido capaz de predecir. Pero las teorías rígidas tienden a sucumbir ante la primera evidencia desfavorable, porque se proyectaron para explicar servilmente *ex post facto* un manojo de datos. Ahora bien: la elasticidad o estabilidad de las teorías tiene sus límites: las teorías no deben ser insensibles a la nueva experiencia ni demasiado acomodaticias respecto de ésta; en particular, no pueden ser compatibles con fragmentos de evidencia que no lo sean entre sí. Las buenas teorías, como los buenos automóviles, no son las que no pueden chocar, sino las que tienen alguna protección.

Los dos primeros requisitos –la consistencia externa y el alcance– son necesarios. Los restantes son desiderata sólo satisfechos por las grandes teorías. La capacidad proyectiva no es una propiedad independiente: resulta del alcance y la originalidad.

Criterios metodológicos

17. *Contrastabilidad*: la teoría, sus presupuestos e incluso las técnicas utilizadas en su contrastación deben ser susceptibles de ésta; todos esos elementos tienen que ser accesibles al examen, el control y la crítica. La teoría en su conjunto tiene que ser confirmable y refutable, aunque puede contener algunas pocas hipótesis que, tomadas sueltas, sean sólo confirmables (cf. sec. 5.6).
18. *Simplicidad metodológica*: si las contrastaciones propuestas para la teoría son tan complicadas que no hay posibilidad de que sea refutada en un futuro previsible, entonces no será posible juzgar el alcance ni la estabilidad de la teoría. Pero la simplicidad metodológica no debe entenderse en un sentido absoluto: quiere decir meramente viabilidad tecnológica (en principio) de las contrastaciones empíricas.

La primera condición es necesaria; obsérvese que, a diferencia de lo que ocurre con hipótesis sueltas, exigimos que las teorías en su conjunto sean confirmables (aplicables) y refutables (de posible discrepancia con los datos, aunque no se conozca ningún caso

refutador). En cambio, el criterio de simplicidad metodológica no debe imponerse sino en medida limitada, porque una innovación tecnológica inesperada puede reducir los tiempos; además, la teoría misma puede presentar afirmaciones lo suficientemente exigentes como para estimular nuevos desarrollos tecnológicos dirigidos a contrastarla o aplicarla.

Criterios ontológicos

19. *Parsimonia de niveles*: la teoría debe ser parsimoniosa en sus referencias a niveles distintos del directamente afectado. En particular, no debe apelarse a los niveles superiores de la realidad si basta con los inferiores, ni tampoco hay que introducir niveles lejanos, de ser posible, sino a través de otros intermedios (cf. sec. 5.9).
20. *Consistencia con la concepción del mundo*: compatibilidad con la visión dominante o, al menos, con el núcleo común a las sostenidas por los científicos más competentes de la época.

La condición 19 es deseable, pero la parsimonia en la multiplicación de niveles no significa reducción a uno solo: puede ser necesario apelar a varios niveles para explicar un solo hecho, como la explosión de una bomba atómica o la composición de una buena novela. Por su parte, la consistencia desde el punto de vista de la concepción del mundo no es un desideratum, porque la concepción del mundo no es una entidad científica. Si se aplica rígidamente, este requisito puede matar la actividad teórica (y hasta a los teóricos personalmente) cuando no se conforma con una determinada concepción, especialmente si esta concepción es la de una escuela sostenida por el poder político. Pero este criterio elimina algunas teorías infundadas y, para bien o para mal, interviene en la estimación de las teorías científicas. El remedio no consiste en pedir la neutralidad de la ciencia respecto de las concepciones del mundo y las filosofías. En primer lugar, porque es imposible extirpar en los científicos los puntos de vista generales. En segundo lugar, porque las concepciones del mundo y las filosofías se encuentran entre los estímulos de la construcción de teorías –aunque muchas veces también entre sus inhibidores. No parece haber más que un modo de evitar que las concepciones del mundo y las filosofías desnaturalicen la ciencia: insertar coherentemente las teorías científicas en concepciones del mundo y en filosofías bien precisadas, controlar estas últimas mediante las primeras y evitar la cristalización interna y la guía externa (principalmente la política).

Los anteriores criterios no son todos independientes. Así, por ejemplo, la profundidad depende de la fuerza lógica y la potencia heurística depende de la profundidad, la representatividad, la originalidad y la capacidad unificadora. Tampoco son todos esos criterios puramente compatibles. El alcance es sin duda mayor en las teorías fenomenológicas y tradicionalistas que en las representacionales y revolucionarias. En tercer lugar, ninguno de aquellos requisitos puede probablemente satisfacerse de un modo completo. Por ejemplo, la corrección sintáctica y la exactitud lingüística pueden no ser perfectas en los estados iniciales; lo importante es que puedan mejorarse. En cuarto lugar, algunos de los anteriores requisitos tienen dos caras, sobre todo la simplicidad metodológica y la consistencia desde el punto de vista de la concepción del mundo. Por todas esas razones la estimación de las teorías se parece mucho a la estimación moral de las personas: en los

dos casos encontramos desiderata que son recíprocamente dependientes, otros que son incompatibles, otros que son ideales inalcanzables, y otros, por último, que son ambiguos. Ésta es una de las razones que permiten dudar de que algún día se inventen *procedimientos de decisión* (contrastaciones sin más valores finales que verdadero y falso) mecánicamente aplicables para practicar elecciones categóricas entre teorías rivales o modos diversos de proceder, como no sea en casos triviales. En este campo, las decisiones se toman sin el apoyo de *reglas* de decisión. Tal vez en la mayoría de los casos de rivalidad entre teorías científicas, la decisión puede requerir juicio científico y "sano juicio" filosófico, y no de un hombre ni de una comisión de sabios, sino de generaciones de especialistas y críticos competentes. Sería estúpido lamentarse de esa situación porque, en el fondo, la ciencia es una empresa social en la que no se trata de ir a la caza de la teoría perfecta y definitiva. *No puede* haber teoría factual perfecta: así lo muestran el proceso de construcción de las teorías, con sus necesarias simplificaciones y sus audaces saltos más allá de la experiencia, y la complejidad de la batería de procedimientos de contrastación de las construcciones teóricas. Dicho positivamente: siempre habrá lugar para teorías nuevas y mejores. No permitamos que ningún *ismo* nos impida intentar construirlas ni tampoco criticarlas.

Hemos discutido un conjunto de principios metacientíficamente que cumplen dos funciones: (*i*) restringen el número de las teorías dignas de consideración en cada estadio y (*ii*) constituyen una batería de contrastaciones no empíricas. Lo que buscan esas contrastaciones es la *verdad* factual, o sea, la conformidad con los hechos. No hay contrastación única –y aún menos empírica– de la verdad factual: cada uno de los requisitos anteriores es un criterio no-empírico de la verdad factual. Para estimar el grado de verdad de las teorías factuales tenemos que usarlos todos, junto con contrastaciones empíricas múltiples (numerosas y variadas) y duras. Cuando se averigua que una teoría es aproximadamente verdadera (aspecto semántico), se adopta o acepta normalmente (aspecto pragmático) y, por tanto, se cree (aspecto psicológico) en alguna medida. Pero también pueden adoptarse teorías aproximadamente falsas para dominios restringidos o con fines tecnológicos, aunque sin creerlas, por lo menos si se sabe que son aproximadamente falsas. Las teorías se aceptan *faute de mieux*. Y esto explica por qué el uso o la aceptación –que es una categoría pragmática– no se presenta entre los anteriores criterios de la verdad de las teorías.

Un análisis más sutil debería descubrir más criterios de estimación, y el progreso de la ciencia y de la metaciencia corregirá probablemente algunos de los criterios habituales e introducirá otros nuevos. El gran número de criterios de estimación puede parecer confusionario al estudiante acostumbrado a leer versiones de manual con simples condiciones veritativas pensadas para proposiciones aisladas. Pero la realidad es que esas manualescas "condiciones veritativas" no existen, no se dan para los sistemas de hipótesis que se presentan realmente en la ciencia real: por tanto, no hay criterios de decisión, ni indicaciones que permitan sospechar que pueda haberlos. Lo más que puede garantizarse es la existencia de algún conjunto de *controles* numerosos y casi independientes, los cuales son, cada uno de ellos, insuficientes para asegurar la verdad completa, pero pueden, juntos, detectar la verdad parcial. Lo importante a propósito de esos criterios o contrastaciones no es que suministren reglas de decisión sobre la aceptación o recusa-

ción de las teorías científicas, como si éstas fueran huevos frescos o ya pasados: aquellos criterios no pueden dar un rendimiento de esta naturaleza. Lo que sí pueden hacer, y hacen en efecto, es mostrar la medida en la cual tiene éxito una teoría factual, y la medida en la cual fracasa. Con eso pueden ocasionalmente indicar nuevas líneas de investigación verosímilmente rentables.

Así llegamos al final de este libro. Los anteriores puntos de vista acerca de la contrastación de teorías discrepan de la idea, muy difundida, de que las teorías se contrastan más o menos como los fertilizantes agrícolas, lo que tiene como consecuencia el que la entera metodología de la ciencia se considere reducible a la estadística. También están en conflicto esos puntos de vista con las diversas escuelas filosóficas, ya por el mero hecho de que cada escuela se aferra a un conjunto de tesis fijas, y no a la búsqueda de un objetivo cada vez más ambicioso, pero alcanzable, y a un método autocorrectivo. Sin embargo, no hay duda de que para construir la imagen de la investigación científica presentada en este libro hemos utilizado unas cuantas contribuciones clave y capitales de varias tendencias filosóficas incompatibles entre ellas. Hemos tomado del realismo las tesis de que existe un mundo externo, de que la investigación científica aspira a refigurarlo y de que ésa es una tarea infinita, porque toda refiguración del mundo ignora algunos rasgos de él y le añade otros que son ficticios. Hemos tomado del racionalismo las tesis de que esas imágenes son simbólicas, no icónicas, y, por tanto, creaciones originales, no fotografías; que la lógica y la matemática son *a priori*, y que los signos carecen de significación cuando no representan ideas. Y del empirismo hemos recogido las tesis de que la experiencia es una piedra de toque de las teorías y los procedimientos factuales, que no puede haber en ellos certeza, y que la filosofía debe adoptar el método y los criterios de la ciencia.

La posición alcanzada es por tanto una especie de síntesis del racionalismo y el empirismo, pero (esperamos) sin el extremismo ni la rigidez que caracterizan toda escuela filosófica. Es una versión del *realismo científico*. Pero éste se parece más a un movimiento que a una escuela, ya que no es un *ismo* más con pretensión de eternidad. Los *ismos* filosóficos son el cementerio de la investigación, porque ellos tienen ya todas las respuestas, mientras que la investigación, científica o filosófica, consiste en luchar con problemas rechazando las constricciones dogmáticas. Y demos la bienvenida a toda otra opinión que facilite una exposición más cuidadosa de la investigación científica *in vivo* o que la promueva más eficazmente, porque tales son las contrastaciones últimas que debe superar toda filosofía de la ciencia.

Problemas

15.7.1. Mostrar cómo se llegó a una decisión entre dos teorías científicas rivales, como, por ejemplo, las de los pares siguientes: teoría cinética del calor-teoría del calórico; teoría del flogístico-teoría de la oxidación; teoría de la acción a distancia-teoría de la acción inmediata (en la electrodinámica o en la teoría de la gravitación), teoría del continuo-teoría atómica; creacionismo-evolucionismo; teoría de la generación espontánea-teoría seminal. *Problema en lugar de ése*: Mientras que los biólogos, los psicólogos y los sociólogos se dan cuenta de la multiplicidad de los puntos

de vista teoréticos o tendencias presentes en sus respectivos campos, y, por tanto, de la importancia de la discusión y la crítica, los físicos suelen negar la existencia de dicha variedad en la física. ¿Es verdad que no hay tendencias en física? Si es verdad, ¿a qué se debe? Si no es verdad, ¿cómo puede explicarse la resistencia de los físicos a reconocer dicha variedad? ¿Por ignorancia, ingenuidad, vergüenza? ¿Por la influencia de una filosofía baconiana de la ciencia para la cual lo que importa en la ciencia es el hecho y no la teoría? ¿Porque los que se desvían de la tendencia principal son siempre una minoría reducida, y nadie desea nadar contra la corriente?

15.7.2. Averroes, y Copérnico luego, sostuvieron que la teoría astronómica debe satisfacer dos exigencias: (*i*) debe dar razón de las apariencia, y (*ii*) debe estar de acuerdo con la física. ¿Qué sistema del mundo "concordaba" mejor con la física aristotélica: el de Ptolomeo o el de Copérnico? ¿Y con la física newtoniana? ¿Y qué papel tuvieron –si tuvieron alguno– consideraciones de consistencia externa en la estimación de dichos "sistemas del mundo"? *Problema en lugar de ése*: La teoría corpuscular de la luz propuesta por Newton se criticó a principios del siglo XIX desde puntos de vista opuestos: por *Naturphilosophen* como Goethe y por físicos como Young y Fresnel. ¿Qué críticas eran ésas?

15.7.3. Comentar el artículo de B. Barber "Resistance by Scientists to Scientific Discovery", reimpreso en B. Barner y W. Hirsch (eds.), *The Sociology of Science*, Nueva York, The Free Press, 1962, en el cual el autor indica los siguientes factores internos de la resistencia al cambio científico: (*i*) prestigio de una vieja teoría; (*ii*) prestigio de una tesis metodológica; (*iii*) ideas religiosas de los científicos; (*iv*) escasa categoría profesional de los innovadores; (*v*) espíritu de casta de los especialistas; (*vi*) escolasticismo. *Problema en lugar de ése*: Examinar algunas de las discusiones recientes sobre la crisis de fundamentos de la mecánica cuántica, la biología evolutiva, la microeconomía, o la historia.

15.7.4. Comentar la siguiente idea de G. Spencer Brown, en *Probability and Scientific Inference*, Londres, Longmans, Green & Co., 1957, p. 23: Un mismo conjunto de observaciones puede explicarse por lo menos de dos modos: o bien en un lenguaje científico, o bien en un lenguaje que hable de milagros, magia, espíritu, etc. "Algunas personas querrían preguntar cuál de esas dos clases de descripción es la verdadera; pero esa pregunta no tiene sentido. Las dos descripciones son modos de decir lo que observamos y, por tanto, ambas pueden ser verdaderas." ¿Se sostiene esa afirmación si se añaden los requisitos de que las teorías tienen que ser contrastables, que incluso las contrastaciones tienen que serlo, y que no es en principio aceptable ninguna teoría que contradiga básicos principios científicos, so pena de caer en contradicción? ¿Y es verdad que las teorías científicas sean descripción de observaciones? *Problema en lugar de ése*: La hipótesis einsteiniana de los *quanta* de luz se recibió sin ningún entusiasmo, pese a que explicaba el efecto fotoeléctrico, porque entraba en conflicto con la teoría ondulatoria de la luz. El propio Einstein llamó modestamente a su teoría "un punto de vista heurístico". Estudiar ese conflicto y su posible solución mediante la construcción de una electrodinámica cuántica.

15.7.5. ¿Deben estimarse las teorías aislándolas de la dimensión y la profundidad del sistema de problemas que las origina? En particular, ¿debe siempre preferirse una teoría modesta, pero precisa, a una teoría ambiciosa, pero comparativamente imprecisa? Recordar la discusión sobre el volumen de las teorías, sec. 9.6. *Problema en lugar de ése*: Examinar la tesis de que las computadoras de la próxima generación serán capaces de formar nuevos conceptos e hipótesis originales. ¿Es razonable profetizar que podrán inventar algoritmos, de modo que podrán autoprogramarse? ¿Qué fundamento hay para profetizar que las calculadoras rebasarán las meras generalizaciones inductivas del tipo corriente de satisfacción de una curva? ¿Qué cosa, si no es un cerebro empapado por una múltiple herencia cultural, puede inventar las construcciones típicas de las teorías propiamente dichas? ¿Y qué clase de examen de teorías podrían dar de sí sistemas desprovistos de toda tendencia filosófica?

15.7.6. Elaborar e ilustrar el siguiente esquema relativo a las variedades de discrepancias en el seno de la comunidad científica: (*i*) Discrepancia lingüística: debida a la ambigüedad, la vaguedad, el cambio inadvertido de significación o de contexto, etc. (*ii*) Discrepancia sobre los resultados de la observación: debida al uso de medios de observación diferentes o a diferentes interpretaciones de los datos. (*iii*) Discrepancia sobre el valor veritativo de las hipótesis y las teorías. (*iv*) Discrepancias de estimación: diversa estimación de los problemas, las líneas de investigación, las técnicas, los resultados, etc. (*v*) Discrepancia filosófica.

15. 7. 7. Examinar las principales corrientes en la psicología contemporánea, en particular la informática ("La mente es un conjunto de programas de computadora") y la neurobiológica ("la mente es un conjunto de procesos cerebrales"). Averiguar en particular, los tipos de datos de que se valen, las relaciones que tienen con disciplinas vecinas, y su grado de profundidad y poder explicativo. Determinar también qué parentesco tienen con las ontologías tradicionales, el idealismo y el materialismo. *Problema en lugar de ése*: Discutir el *principio de correspondencia* de N. Bohr, según el cual los resultados de la teoría cuántica para sistemas macroscópicos tienen que aproximarse a los resultados de la teoría clásica. ¿Puede extenderse ese principio a otros campos? ¿Cómo se relaciona con el principio de consistencia externa? ¿Funciona ese principio como una contrastación respecto de la verdad? ¿Es un principio científico o metacientífico?

15.7.8. Examinar la tesis constructivista-relativista de que no hay criterios objetivos para escoger entre teorías científicas rivales, porque la verdad objetiva no existe. Cf. su principal órgano de expresión, *Social Studies of Science*, y M. Bunge, *Sociología de la ciencia*, Buenos Aires, Sudamericana, 1998.

15.7.9. El número de problemas que puede tratar (formular y resolver) una teoría podría ser un criterio para la estimación de teorías. Una teoría puede ser buena en muchos respectos, pero tratar un área reducida de problemas. El dominio de los hechos que cubre una teoría puede ser restringido porque la teoría no pueda enfrentarse con ellos en principio o en la práctica (debido, por ejemplo, a dificultades de cálculo). ¿Es ése un rasgo independiente de las teorías, o se sigue de algunos otros rasgos estudiados en el texto? *Problema en lugar de ése:* ¿Es verdad que hay teorías rivales "inconmensurables" (incomparables), y que no hay criterios objetivos para elegir entre ellas, como sostienen T. S. Kuhn y P. K. Feyerabend?

15.7.10. Elaborar e ilustrar el siguiente esquema relativo a las clases de novedad que puede presentar una teoría. (*i*) La teoría es una reformulación de una teoría ya conocida. (*ii*) La teoría generaliza una teoría ya conocida. (*iii*) La teoría es formalmente análoga a una teoría conocida. (*iv*) La teoría consiste en la fusión de varios fragmentos de teorías conocidas. (*v*) La teoría es completamente nueva porque contiene conceptos radicalmente nuevos o porque relaciona conceptos conocidos de un modo sin precedentes. *Problema en lugar de ése:* Discutir e ilustrar la distinción establecida por T. S. Kuhn en *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1962, entre investigación científica *normal* –que satisface algún esquema o paradigma– e investigación *extraordinaria*, la cual produce una revolución científica que consiste en la sustitución de los paradigmas dominantes por otros enteramente nuevos que permiten plantear problemas también nuevos. Dilucidar el concepto de paradigma y relacionarlo con los conceptos de teoría, conocimiento básico y "espíritu de la época".

BIBLIOGRAFÍA

Baker, S. F., *Induction and Hypothesis*, Ithaca, Nueva York, Cornell University Press, 1957.
Bogdan, R. J. (ed.), *Local Induction*, Dordrecht-Boston, Reidel, 1973.
Bunge, M., *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1963, caps. 7 y 9.
—— (ed.), *The Critical Approach*, Nueva York, The Free Press, 1964, parte I, especialmente los artículos debidos a P. Bernays, J. Giedymin y N. W. N. Watkins.
Carnap, R., *Logical Foundations of Probability*, Chicago University Press, 1950.
Czerwinski, Z. "Statistical Inference, Induction and Deduction", *Studia logica*, 7, 243, 1958.
Fisher, R. A., *The Design of Experiments*, 6a. ed., Edinburgh, Oliver and Boyd, 1951.
Goodman, N., *Fact, Fiction & Forecast*, Londres, Athlone Press, 1954.
Harris, M., *The Rise of Antropological Theory*, Nueva York, Thomas Y. Crowell, 1968.
Hume, D., *A Treatise of Human Nature*, 1739, varias ediciones, libro I, parte III, sev. VI.
Jeffreys, H., *Scientific Inference*, 2a. ed., Cambridge, Cambridge University Press, 1957.
Kempthorne, O., y J. L Folks, *Probability, Statistics and Data Analysis*, Ames IO, Iowa State University Press, 1971.
Keynes, J. M., *A Treatise on Probability*, Londres, Macmillan, 1929.
Kleinmetz, B., (ed.), *Formal Representation of Human Judgment*, Nueva York, Wiley, 1968.
Kneale, W., *Probability and Induction*, Oxford, Clarendon Press, 1949.
Kuhn, T. S., *The Structure of Scientific Revolution*, Chicago, University of Chicago Press, 1962.
——, *The Essential Tension*, Chicago, University of Chicago Press, 1977.
Kyburg, H. E. Jr., y E. Nagel (eds.), *Induction: Some Current Issues*, Middletown Conn., Wesleyan University Press, 1963.
Lakatos, I., y A. Musgrave (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, 1970.
Lakatos, I. (comps.), *Problems of Inductive Logic*, Amsterdam, North-Holland, 1968.
Merton, R. K., *Social Theory and Social Structure*, ed. rev., Glencoe Ill, Free Press, 1959.
Pólya, G., *Mathematics and Plausible Reasoning*, Princeton, Princeton University Press, 1954, 2 vols.
Popper, K. R., *The Logic of Scientific Discover*, 1935, Londres, Hutchinson, 1959.
Rescher, N., *Objectivity*, Notre Dame, University of Notre Dame Press, 1997.
Trigger, B. G., *A History of Archaeological Thought*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
——, *Sociocultural Evolution: Calculation and Contingency*, Oxford, Blackwell, 1998.
Wright, G. H. von, *The Logical Problem of Induction*, 2a. ed., Oxford, Blachvell, 1957.

EPÍLOGO

FINES Y MEDIOS DE LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

Todo auténtico filósofo de la ciencia tiene dos finalidades: la una teórica y la otra práctica. La primera es entender la investigación científica y algunos de sus resultados. La otra es ayudar a los científicos a afilar conceptos, refinar teorías, examinar métodos, poner al descubierto supuestos filosóficos, participar efectivamente en controversias científicas y sembrar dudas acerca de hallazgos que parecen incontrovertibles. Ambas finalidades se complementan.

Para alcanzar estas metas, los filósofos han adoptado tradicionalmente uno de estos dos métodos: el directo de mirar de cerca el quehacer científico, y el indirecto de leer lo que hacen sus colegas. En esta obra se ha adoptado el primer método. Sin duda, algunas de las opiniones de los filósofos de la ciencia son interesantes y merecen ser analizadas. Pero ésta es tarea del historiador antes que del filósofo de la filosofía de la ciencia. El epistemólogo creador no es un espectador, sino un partícipe de la faena científica.

Para comprender cómo obra el investigador científico, hay que intentar averiguar lo que pasa en su cabeza. Y para lograr esto es necesario leer la literatura científica original, en lugar de contentarse con leer textos de divulgación. De lo contrario, no se podrá hacer contribuciones originales y verdaderas al conocimiento acerca del conocimiento científico. Tampoco se podrá ayudar a los investigadores científicos a resolver los problemas filosóficos que saltan cada vez que abordan tareas profundas y difíciles, tales como especular con fundamento sobre los orígenes de la vida o de la religión y buscar los mecanismos de la creatividad o del cambio social.

El enfoque directo es gratificante, porque puede revelar la manera en que realmente obran los investigadores científicos, así como lo que les motiva, además del reconocimiento de sus pares. Este enfoque confirma algunas perogrulladas que a menudo se pierden en las alturas enrarecidas de la filosofía pura, así como en la metaciencia "posmoderna" o punk. Algunas de esas verdades evidentes son las siguientes: que los científicos exploran el mundo para averiguar cómo funciona realmente; que para llevar a cabo tal exploración inventan, analizan y discuten ideas, instrumentos y procedimientos, y ejecutan cálculos y experimentos; que ponen a prueba todo lo que crean o usan; que siempre parten de un cuerpo de conocimientos, sólo algunos de los cuales cuestionan, y que intentan enriquecer; que habitualmente se sujetan a rigurosas normas de conducta; y que, aun cuando ocasionalmente la investigación básica se usa con malos fines en otros campos, la finalidad de la investigación básica no es la utilidad ni el poder, sino la verdad objetiva, aunque sólo sea aproximada.

Esta concepción de la investigación básica como búsqueda desinteresada y disciplinada de la verdad es particularmente importante en una época en que, como la nuestra, muchos sospechan que la ciencia no es sino un instrumento de dominación y destrucción.

Esta sospecha deriva de dos confusiones: las de la ciencia con la técnica, y de ésta con los negocios y la política. Por supuesto que la técnica moderna toma la ciencia de prestado, y que la técnica es usada tanto por empresas como por el Estado. Pero ¿quiénes diseñan artefactos útiles o destructivos, desde drogas farmacéuticas y lavarropas hasta armas y técnicas de persuasión masiva? Son técnicos, no científicos. Y quienes manufacturan o usan tales artefactos son empresas o gobiernos, no técnicos.

Por consiguiente, los culpables del mal uso de la técnica son personas que abusan del poder económico o político, no científicos. Estos últimos carecen de poder y buscan el conocimiento por el conocimiento mismo, lo mismo que casi todos los artistas aspiran a hacer arte por el arte. Cuando no lo hacen, sus colegas los acusan de mercenarios o falsarios. Por ejemplo, si un investigador es pescado cometiendo un fraude, es condenado al ostracismo científico; y si ama más el poder que la verdad, termina desempeñando cargos administrativos.

Sin embargo, sería ingenuo creer que la investigación científica se hace en un vacío social, de modo que su historia puede verse como una sucesión de ideas desencarnadas.

En efecto, los antropólogos, sociólogos e historiadores de la ciencia han mostrado concluyentemente que la ciencia interactúa con la técnica y la ideología y, a través de ésta, con la economía y la política. Por ejemplo, las investigaciones sobre la relación entre estado de ánimo y neurotransmisores, tales como la serotonina y la dopamina, enriquecen no sólo a la neurociencia y a la psicología, sino también a la farmacología y la psiquiatría. A su vez, estas últimas atraen el interés de la industria farmacéutica, la que está sujeta a regulaciones estatales. En cambio, las investigaciones puras, sin perspectivas inmediatas de aplicación, pueden ser sofocadas por gobiernos miopes o temerosos de posibles implicaciones ideológicas. Por ejemplo, las investigaciones sobre el origen de la vida, la naturaleza neurofisiológica de la mente, la conexión entre religión y política, las virtudes y defectos del mercado, o la historia del partido en el poder son descorazonadas o aun prohibidas por ciertos gobiernos.

En suma, la ciencia, la técnica, la ideología, la economía y la política pueden imaginarse como un pentágono cuyos lados simbolizan los flujos de información o de influencia, ya estimulante, ya inhibidora. Los filósofos, antropólogos, sociólogos o historiadores de la ciencia o de la técnica que aspiren a ser tanto veraces como útiles se ubicarán en el centro de ese pentágono. Sólo así evitarán pasar por alto o confundir cualquiera de sus cinco lados. Y sólo desde el centro lograrán construir una visión realista de la ciencia o de la técnica. Si se quedan fuera del pentágono, sólo podrán alabarlo o atacarlo sin fundamento.

La postura filosófica adoptada en esta obra es el realismo científico. Éste es una combinación de dos tradiciones filosóficas clásicas y rivales: el racionalismo y el empirismo. El realismo científico alienta la construcción de teorías capaces de explicar datos empíricos, así como la búsqueda de éstos a la luz de teorías. Por consiguiente, descorazona la especulación desenfrenada tanto como la recolección ciega de datos. Las teorías científicas debieran de ser sujetas a pruebas de realidad, y algunos datos debieran de ser pertinentes a teorías de alto nivel. Por ejemplo, los científicos sociales ambiciosos no se conforman con registrar hechos sociales, sino que imaginan mecanismos que los explican, y ponen a prueba sus teorías con ayuda de indicadores sociales que hacen de puente entre teorías y datos.

El realismo científico subraya la naturaleza constructiva de las ideas, en particular los conceptos, problemas, reglas y diseños experimentales, pero niega que ellas sean arbitrarias. Y hace lugar a convenciones, tales como las definiciones, pero insiste en que las teorías científicas debieran representar a sus referentes con la mayor fidelidad posible. Exige la justificación, conceptual o empírica, de todo cuanto pretenda pasar por conocimiento. Desestima tanto la especulación arbitraria como el dogma. Sin embargo, el realismo científico es tan meliorista como falibilista. Es decir, reconoce pocas verdades definitivas, salvo en lógica y matemática; pero, al mismo tiempo, confía en que es posible corregir errores y avanzar las fronteras actuales del conocimiento. También es cientificista en afirmar que el enfoque científico es el que mejor conduce a verdades generales y profundas, en particular leyes científicas. Finalmente, el realismo científico es sistemático: ubica toda cuestión y toda respuesta en algún sistema, tal como una descripción, clasificación, teoría o proyecto de investigación.

El realismo científico rivaliza con las principales escuelas en que se divide la filosofía del conocimiento. En particular, choca tanto con el racionalismo radical de Leibniz como con el irracionalismo de Heidegger; con el escepticismo de Hume como con el subjetivismo de Husserl; con el intuicionismo de Bergson como con el pragmatismo de James; con el empirismo radical de Berkeley como con el empirismo lógico de Reichenbach; con la filosofía del lenguaje ordinario de Wittgenstein como con el racionalismo crítico de Popper; con el convencionalismo de Duhem como con el constructivismo-relativismo de Latour. Echemos un rápido vistazo a las diferencias más notables entre estas escuelas y el realismo científico.

A primera vista, parecería que todo problema del conocimiento puede abordarse recurriendo a una sola de las tres "fuentes" clásicas del conocimiento: la razón, la experiencia y la intuición. Por ejemplo, mientras el matemático sólo usa la razón, los problemas antropológicos exigen la observación. Pero, de hecho, el matemático se guía por su intuición u "olfato", aunque no se fía de éste. Y la observación no basta en la antropología ni en ninguna otra ciencia factual. En efecto, como ya lo observara Darwin, el trabajo empírico vale poco a menos que sea guiado por alguna hipótesis. Al fin de cuentas, para encontrar algo debemos saber de antemano qué buscar, dónde puede hallarse y cómo reconocerlo si tropezamos con ello. Y la combinación de datos particulares con generalizaciones, así como la estimación del valor de ambos, requiere de algún análisis racional, así como algún "olfato" cultivado por el análisis.

Lo que precede basta para recusar toda suerte de irracionalismo, desde el neoplatonismo hasta el existencialismo y el relativismo-constructivista "posmoderno", pasando por el intuicionismo, la fenomenología y el pragmatismo. Pero esto no equivale a negar la importancia de factores no racionales en la investigación (a diferencia de sus resultados depurados), ni el valor de la corazonada. Sólo afirmo que el irracionalismo es peor que inútil para conocer: que es el principal obstáculo a la exploración de lo desconocido (en particular, la investigación de la pasión, la intuición y la superstición).

Nótese que también el empirismo radical es una forma de irracionalismo, aun cuando se lo combine con la elaboración de datos. En efecto, la experiencia científica –la observación, la medición y el experimento– es razonada, ya que se la diseña, planea e interpreta a la luz de hipótesis. Más aún, los datos que resultan de dichas operaciones empíricas

no son más sacrosantos que las conjeturas. En efecto, casi todos ellos están afectados de errores de algún tipo (sistemáticos o accidentales), los que pueden corregirse con ayuda de teorías, análisis estadísticos o nuevos diseños experimentales.

En resolución, la investigación científica combina la razón con la experiencia. Siendo así, necesitamos una teoría del conocimiento que combine los ingredientes sanos del racionalismo con los del empirismo. Semejante síntesis ha sido intentada varias veces. Por ejemplo, Kant trató de unir el racionalismo de Leibniz con el empirismo de Hume. Pero, en mi opinión, eligió las mitades erradas de ambos: el apriorismo leibniziano y el fenomenismo humeano. Para peor, las unió con el intuicionismo. Y para colmo, decretó que la psicología y las ciencias sociales nunca se harían ciencias, alegando que son refractarias al cálculo y al experimento. No debe sorprender, pues, que la filosofía de Kant haya sido inútil en las ciencias exactas y naturales, y contraproducente en las sociales.

Otra tentativa de sintetizar el racionalismo con el empirismo fue el empirismo lógico o neopositivismo de la Escuela de Viena. Esta escuela admitió la naturaleza formal y por lo tanto *a priori* de la matemática, pero no propuso ninguna filosofía viable de la matemática. Reconoció la necesidad de teorizar en las ciencias, pero intentó definir todos los conceptos teóricos en términos de conceptos empíricos. Además, temió a la metafísica u ontología al mismo tiempo que favoreció la metafísica fenomenista. No vio que quienes exploran el mundo no pueden prescindir del postulado ontológico de que éste existe con independencia del sujeto conocedor. No debiera sorprender, por consiguiente, que ya no queden positivistas lógicos en la comunidad científica. Sin embargo, a la hora de examinar problemas metateóricos, casi todos los científicos naturales y sociales adoptan una actitud positivista. Por ejemplo, pretenden que todos los conceptos científicos debieran definirse en términos de operaciones empíricas. Lo único que queda de esta exigencia absurdamente restrictiva es el requisito razonable de que los constructos debieran anclarse, en algún momento, en los datos por la vía de indicadores.

La tercera tentativa en la misma dirección fue la de Popper. Éste corrigió algunos errores empiristas, en particular el mito de que siempre se empieza por observar y luego se hacen infererencias controladas por la lógica inductiva. Popper mostró la inexistencia e imposibilidad de la lógica inductiva. Pero a su vez propuso otros mitos, tales como que la investigación científica es un proceso ordinario de ensayo y error idéntico al que siguen los animales inferiores; que uno jamás debiera formular preguntas de la forma "¿Qué es x?"; que los resultados favorables no valen nada; que el único objetivo de las operaciones empíricas es intentar refutar teorías; que todas las hipótesis –incluso las bien corroboradas, tales como que la Tierra gira en torno al Sol, y que todos los organismos contienen ADN– pueden resultar falsas; que hay que abstenerse de hablar del significado; que es necesario pensar el conocimiento sin sujeto que conoce, y que la ciencia es ajena a la metafísica. Más aún, la adhesión de Popper al dualismo psiconeural (o mente-cuerpo) es incompatible con la neuropsicología. Y su defensa del individualismo metodológico en los estudios sociales, aunque útil para desinflar el holismo, ha descorazonado el estudio de sistemas sociales, que es precisamente el cometido de las ciencias sociales. Por estos motivos, tampoco la epistemología de Popper ha logrado unir las partes válidas del racionalismo y del empirismo.

Finalmente, está el constructivismo-relativismo, o la opinión de que todo "hecho científico", desde la molécula hasta el terremoto, es construido por alguna comunidad científica, por lo cual no puede haber verdades objetivas y transculturales, sino solamente convenciones locales. Esta opinión, actualmente difundida en las facultades de humanidades, tiene un grano de verdad, a saber, la tesis de que es preciso ubicar la investigación científica en su contexto social. Pero el resto es absolutamente falso. Resulta de confundir el hecho objetivo con nuestras ideas acerca del mismo y de identificar la influencia del medio social sobre el investigador con el contenido de sus ideas. El constructivismo-relativismo no ofrece ninguna prueba de su tesis de que toda ciencia, incluso la matemática, tiene un contenido social. No da cuenta de las pruebas empíricas, sin las cuales la ciencia factual no sería tal. Ignora el hecho de que todos los investigadores proceden sobre la hipótesis de que las verdades y los métodos de la ciencia carecen de sexo, raza, clase social y contenido político: que no hay ciencia masculina ni femenina, blanca ni negra, burguesa ni proletaria. Por último, pese a toda su charla sobre el contexto social, el constructivismo-relativismo no explica su propio éxito entre los estudiantes de humanidades ni su fracaso entre los estudiosos de las ciencias.

Debido a que las epistemologías más conocidas han fracasado en su tentativa de dar cuenta de la investigación científica, he tenido que construir mi propia versión del realismo científico, expuesta en este libro. Los lectores que se interesen por tópicos especiales en la filosofía de la ciencia podrán consultar algunas de las obras que se listan a continuación.

BIBLIOGRAFÍA

Bunge, Mario, 1959, *Metascientific Queries*, Springfield Ill., Charles C. Thomas.

——, 1963, *The Myth of Simplicity*, Englewood Cliffs NJ, Prentice-Hall.

——, 1973, *Method, Model, and Matter*, Dordrecht-Boston, Reidel.

——, 1974, *Sense and Reference*, Dordrecht-Boston, Reidel.

——, 1974, *Interpretation and Truth*, Dordrecht-Boston, Reidel.

——, 1977, *The Furniture of the World*, Dordrecht-Boston, Reidel.

——, 1978, *Filosofía de la física*, Barcelona, Ariel.

——, 1979, *A World of Systems*, Dordrecht-Boston, Reidel.

——, 1980, *Materialismo y ciencia*, Barcelona, Ariel.

——, 1983a, *Exploring the World*. Dordrecht, Reidel.

——, 1983b, *Understanding the World*, Dordrecht, Reidel.

——, 1985a, *Philosophy of Science and Technology*, parte I, *Formal and Physical Sciences*, Dordrecht, Reidel.

——, 1985b, *Philosophy of Science and Technology*, parte II, *Life Science, Social Science and Technology*, Dordrecht, Reidel.

——, 1985c, *El problema mente-cerebro*, Barcelona, Ariel.

——, 1989, *Ethics*, Dordrecht-Boston, Reidel.

——, 1996a, *Finding Philosophy in Social Science*, New Haven CT, Yale University Press [*Buscar la filosofía en las ciencias sociales*, México, Siglo XXI, 1999].

——, 1996b, *Intuición y razón*, Buenos Aires, Sudamericana.
——, 1996c, *Ética, ciencia y técnica*, BuenosAires, Sudamericana.
——, 1997a, *Epistemología*, México-Madrid, Siglo XXI.
——, 1997b, *La causalidad*, Buenos Aires, Sudamericana.
——, 1997c, *Ciencia, técnica y desarrollo*, Buenos Aires, Sudamericana.
——, 1998a, *Social Science Under Debate*, Toronto, University of Toronto Press.
——, 1998b, *Sociología de la ciencia*, Buenos Aires, Sudamericana.
——, 1998c, *Dictionary of Philosophy*, Buffalo NY, Prometheus Books [*Diccionario de filosofía*, México, Siglo XXI, 2000].
——, 1999a, *Las ciencias sociales en discusión*, Buenos Aires, Sudamericana.
——, 1999b, *The Sociology-Philosophy Connection*, New Brunswick, NJ, Transaction.
—— y Rubén Ardila,1988, *Filosofía de la psicología*, Barcelona, Ariel.
——, Mahner y Martin, 1997, *Foundations of Biophilosophy*, Berlín-Heidelberg-Nueva York, Springer [*Fundamentos de la biofilosofía*, México, Siglo XXI, 2000].

SÍMBOLOS ESPECIALES

$A \subseteq B$	el conjunto *A* está incluido en el conjunto *B*.
$A \cup B$	la unión o suma lógica de los conjuntos *A* y *B*.
$A \cap B$	la parte común, o producto lógico, de los conjuntos *A* y *B*.
$a \in \mathrm{B}$	el individuo *a* está en o pertenece al conjunto *A*.
$Card(A)$	la cardinalidad (numerosidad) del conjunto *A*.
$A \times B$	el producto cartesiano de los conjuntos *A* y *B*.
$Cn(A)$	la(s) consecuencia(s) del conjunto de supuestos *A*.
$=_{\mathrm{df}}$	equivale por definición a.
Df.	definición.
$(\exists x)$	algunos *x* (o hay por lo menos un *x* tal que).
e	dato empírico.
e^*	traducción del dato empírico *e* a un lenguaje semiempírico y semiteorético.
h	hipótesis.
$m(\dot{r})$	valor medido de $\dot{r}$.
$\bar{m}(\dot{r})$	valor promedio (o medio) de un conjunto de valores medidos de $\dot{r}$.
$P \dashv T$	*T* presupone a *P*.
p, q	proposiciones o enunciados cualesquiera (sin especificar).
$P(x)$	*x* tiene la propiedad *P* (o *x* es un *P*).
$\{x \mid P(x)\}$	el conjunto de los *x* tales que cada *x* es un *P*.
$p \vee q$	*p* o *q* (disyunción no excluyente).
$p \,\&\, q$	*p* y *q* (conjunción).
$p \rightarrow q$	si *p*, entonces *q* (condicional o implicación).
$p \leftrightarrow q$	*p* si y sólo si *q* (bicondicional o equivalencia).
Σ_i	suma sobre *i*.
t	teorema, consecuencia contrastable.
t^*	traducción de *t* a un lenguaje semiempírico o semiteorético.
T	teoría.
$A \vdash t$	*A*, por tanto *t* (o *A* tiene como consecuencia *t*, o *t* se sigue lógicamente de *A*).
$\varnothing$	el conjunto vacío.
U	el conjunto universal.
x	un individuo cualquiera (sin especificar).
(x)	para todo (*x*).
$\langle x, y \rangle$	el par ordenado de los elementos *x*, *y*.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

Ackerman, W., 391
Ackoff, R. L., 39, 193, 586
Acton, H. B., 539
Adams, J. C., 224
Adler, I., 669
Adrian, E. D., 734
Agassi, J., 193, 586
Agazzi, E., 382, 512,
Ajdukiewicz, K., 142
Albert, H., 471
Alexander, S., 186
Allen, F. R., 539
Ampère, A. M., 13, 495, 679
Andrews, I. G., 393
Aqvist, L., 193
Aranda, conde de, 533
Ardila, R., 455
Aris, R., 393
Aristóteles, 121, 155, 156, 184, 193, 477, 519, 558, 620, 685, 748, 751
Arnoff, E. L., 39, 586
Arquímedes, 22, 288, 289, 290, 300, 708
Asch, S. E., 629, 637
Ashby, W. R., 219, 330
Aspect, A., 667
Aston, F. W., 165, 248
Atkinson, R. C., 711
Atwood, G., 761
Austin, J. L., 192
Avenarius, 606
Averroes, 773
Ayer, A. J., 6, 625

Bacon, F., 9, 12, 102, 206, 250, 341, 519, 566, 613
Bacon, R., 708, 711
Bach, J. S., 702
Baird, D. C., 676, 711
Baker, S. F., 775
Barber, B., 538, 692, 773
Barbour, I. G., 586
Barner, B., 773
Barnes, B., 242
Barnett, S. A., 148
Bartlett, M. S., 753
Bartley, W. W., 227
Bateman, F., 39
Beckenbach, E. F., 560
Bellman, R., 193
Belnap, N. D. Jr., 193
Bergson, H., 465, 510, 613, 619, 778
Berkeley, J., 606, 778
Berkowitz, L., 38
Berlyne, D., 686
Bernard, C., 198, 220, 263, 484, 686, 711
Bernays, P., 384, 385, 775
Bernoulli, 702
Bessel, F. W. 224
Beth. E. W., 393
Beveridge, W. I. B., 263
Bhabha, H. J., 322
Bindra, D., 494
Black, M., 85, 341
Blake, J., 214
Blake, R. M., 454
Blalock, A. B., 676, 711
Blalock, H. M., 711
Blanshard, B., 625
Blitz, D., 262
Bogdan, R. J., 775
Bohm, D., 676
Bohr, N., 443, 577, 774
Boirel, T., 586
Boltzmann, L., 444, 454, 455, 570
Bondi, H., 251, 693, 744
Boom, L., 194
Borger, R., 512
Born, M., 134, 623, 644
Boutroux, E., 307
Boyle, R., 112, 298, 324, 692
Boyte, J. M., 686
Brahe, T., 219
Braithwaite, R. B., 393, 455, 512

Braudel, F., 538
Bridgman, P. W., 135, 160, 307, 330, 408
Brigth Wilson, E.. 18
Brodbeck, M., 512
Bromberger, S., 193
Broom, L., 193
Bronstein, D. J., 12, 186
Brothwell, D., 669
Brown, G. S., 586, 773
Bruno, G., 226, 765
Brunswik, 361
Buck, R. C., 586
Bugliarello, G., 586
Bunge, M., 18, 22, 39, 50, 58, 66, 72, 78, 85, 86, 104, 113, 128, 141, 142, 193, 227, 236, 251, 262, 263, 281, 298, 316, 322, 329, 330, 331, 361, 382, 392, 393, 407, 409, 433, 444, 454, 455, 456, 471, 478, 494, 510, 511, 512, 519, 528, 529, 560, 578, 586, 619, 625, 637, 644, 661, 676, 697, 703, 711, 725, 753, 762, 774, 775, 780
Bury, R. G., 103, 250
Bush, R., 421, 761

Cameron, A. G. W., 168
Campbell, N. R., 455, 512, 644, 661, 675, 676
Cannon, W. B., 549, 705
Cantor, J., 650
Carathéodory, 433
Carnap, R.,6, 50, 85, 135, 142, 192, 227, 393, 408, 455, 559, 606, 675, 734, 739, 741, 745, 775,
Carslaw, H. S., 650
Cini, M., 669
Cioffi, F., 512
Cochran, W. F., 711
Cohen, E. R., 676
Collingwood, R. G., 18, 192, 510
Comte, A., 613
Conant, J. B., 39, 685, 711
Condillac, E. B. de, 49
Condon, E. U., 676
Copérnico, N., 444, 454, 764, 765, 773
Copi, I., 393, 619
Cottrell, Jr., L. S., 193
Coulson, C. A., 493
Cowling, T. G., 218
Cox, D. R., 711
Cox, C. M., 711
Craig, W., 406, 409
Craik, K. J. W., 512
Crick, F., 493
Crombie, A. C., 637, 711
Cronbach, L. J., 142
Crossley, J. N., 193
Curry, H. B., 393
Czerwinski, Z., 775
Chesterton, G. K., 307
Child, A., 586
Churchman, C. W., 39, 586

D'Abro, A., 454, 455
Da Vinci, L., 601, 708, 711
Dalton, J., 218, 219
Dallenbach, K. M., 341
Darwin, C., 48, 75, 219, 251, 333, 446, 447, 510, 538, 543, 619, 746, 778
Davy, J., 226
De Broglie, 675
Deane, P., 585
Dedekind, 650
Delafresnaye, J. F., 141
Demócrito, 482
Denenberg, V. H., 693
Dennis, W., 456
Descartes, R., 9, 12, 13, 135, 206, 239, 478, 481, 620, 748, 750
Destouches-Février, P., 559
Deutsch, M., 625
Dewey, J., 12
Dilthey, W., 13, 18, 66, 142, 471, 510
Dingle, H., 649
Dingler, H., 199, 577
Dirac, 650
Donner, D. B., 586
Dubos, R., 250
Dugas, R., 454
Duhem, P., 122, 263, 307, 315, 407, 433, 454, 456, 510, 711, 761, 778
Dummett, 193
Dumond, J. W. M., 676

Eddington, A. S., 418, 445, 598, 623, 624
Edge, D., 432
Einstein, A., 66, 164, 249, 407, 456, 502, 773
Ellis, B., 676

Essex, 249
Euclides, 371, 424, 432
Euler, L., 454
Exner, F., 331
Eysenck, H. J., 37, 38, 696, 711

Faraday, M., 486
Feigl, H., 315, 455, 456, 512, 561, 724
Fermat, 279
Fermi, E., 149
Feyerabend, P. K., 38, 39, 512, 774
Fisher, R. A., 13, 690, 697, 706, 711, 775
Fitzgerald, G. F., 249
Flew, A., 456, 626
Flügge, S., 322
Fogel, S., 685, 711
Folks, J. L., 775
Fox, R. C., 692
Frank, P. G., 361, 442, 510, 625
Fréchet, M., 382
Frege, G., 58, 65, 85, 114
Frenkel-Brunswick, E., 361
Fresnel, 544, 773
Freud, S., 39, 200, 465, 519
Freudenthal, H., 193, 393
Furstenberg, H., 560

Gabriel, M. L., 685, 711
Galanter, E., 421, 761
Galilei, G., 297, 435, 708, 746, 765
Galison, P., 711
Galle, J., 224
Gallie, W. B., 560
Gardiner, P., 512
Gardner, M., 39
Geertz, C., 66, 142, 392
Giedymin, J., 775
Gellner, E., 40
Gilbert, W., 219
Gleiser, R. J., 677
Gödel, K., 182, 390, 433
Goethe, J. W. von, 219, 236, 507, 773
Goguen, J. A., 95
Gold, T., 251
Gonseth, F., 22
Good, I. J., 262
Goodman, N., 116, 122, 142, 219, 236, 408, 409, 554, 775
Goudge, T., 262
Greenwood, E., 685, 711
Gregg, J. R., 85
Gregory, J., 278, 282
Gross, L., 272, 570
Gross, P. R., 40
Grünbaum, A., 560, 762
Guenin, J. de, 383
Guericke, 752
Guerlac, H., 637
Guetzkow, H., 711

Hacking, I., 711
Haldane, J. B. S., 538, 661
Halmos, P. R., 85
Hamel, G., 322
Hanson, N. R., 50, 263, 560, 625
Harris, M., 775
Hart, H., 539, 570
Hartmann, 620
Hartshorne, C., 192
Harvey, D., 517
Harvey, W., 246
Heaviside, 454
Hebb, D. O., 159, 455, 494, 618
Hedström, P., 44
Hegel, G. W., 7, 13, 262, 620
Heidegger, M., 105, 200, 778
Heisenberg, W., 104, 322
Helmholtz, H., 624
Helmont, J. B. van, 685
Hempel, C. G., 85 135, 142, 455, 464, 470, 512, 735
Henmueller, F., 114
Henning, W., 78, 85
Henkin, L., 393, 434
Heráclito, 494, 642
Herschel, J., 226
Herskovits, M. J., 618
Hertz, H., 251, 624, 625, 697
Heyerdahl, T., 686
Higgs, E., 669
Hilbert, D., 148, 193, 391, 424, 432, 433
Hilgard, E. R., 454
Hippel, A. R. von, 570
Hirsch, W., 538, 692, 773
Hitch, C., 586
Hiz, H., 193

Hobbes, T., 122
Hoerner, S. von, 168
Hook, S., 38, 168, 361
Hooke, R., 316
Hull, C. L., 84, 243, 455, 585
Hull, D., 72
Hume, D., 139, 219, 307, 310, 321, 554, 555, 556, 558, 559, 775, 778
Huntington, E. V., 370
Husserl, E., 13,199, 282, 454, 613, 619, 778
Huxley, J. S., 585
Huxley, T. H., 79, 251
Huygens, C., 761

James, W., 113, 556, 570, 778
Jaspers, K., 6
Jefreys, H., 322, 559, 673, 775
Jevons, W. S., 549, 560, 725
Johnson-Laird, P. N., 179
Joule, J. P., 214
Jung, C. G., 236

Kant, I., 173, 186, 272, 307, 331, 421, 432, 623, 779
Katz, J. J., 559
Kayan, C. F., 676
Kemeny, J. G., 421
Kempthorne, O., 775
Kendall, M. G., 310, 331, 711
Kepler, J., 214, 219, 278, 418
Keynes, J. M., 775
Kimball, G. E., 570, 587
Kirchhoff, G. R., 433, 493, 510
Kleinmetz, B., 785
Klibansky, 193
Klineberg, O., 205
Kneale, M., 370, 559
Kneale, W., 331, 459, 718, 775
Knopf, A. A., 762
Koenig, O., 494
Kolmogoroff, A. N., 193, 372, 560
Körner, S., 95, 512, 520, 560, 625
Kosslyn, S. M., 494
Kotarbinski, T., 13, 586
Krechevsky, I., 199
Krikorian, Y. H., 12, 186
Kubinsky, T., 193
Kuce, R. D., 761
Kuhn, T. S., 456, 725, 745, 774, 775
Kurtz, P., 38
Kyburg, H. E., Jr., 560, 775

Lakatos, I., 455, 745, 775
Lalande, A., 598
Lamark, J. B. de, 447, 446
Langford, C. H., 370, 393
Laplace, 503
Latour, B., 697, 778
Lavoisier, A. L., 50, 112, 221, 298, 300, 411, 680-685
Lazarsfeld, P. F., 18, 205, 421, 625
Le Chatelier, H., 586
Le Gros Clark, W., 619, 746
Le Roy, S., 122
Le Sage, G. L., 481
Le Verrier, U. J., 226
Leake, C. D., 18
Lenzen, V. F., 626, 676
Leibniz, G. W., 620, 778
Leontieff, W., 449
Leopold, L. B., 421
Levelt, J. M. H., 306
Levitt, E. E., 37
Levitt, N., 40
Lévy-Leblon, J. M., 669
Lewin, K., 298
Lewis, C. I., 85, 142, 370, 393, 626
Lewis, M. W., 40
Lilley, S., 538
Lindley, T. F., 193
Linus, F., 750
Little, K. B. 585
Lorentz, H. A., 249, 319
Lotka, A. J., 84
Luce, R. D., 421
Lukasiewicz, J. 559

Macaulay, T. B., 605
Mackey, R., 587
Mach, E., 32, 252, 350, 388, 408, 433, 444, 510, 577, 606, 619
Madden, E. H., 454
Magno, A., 708
Mahner, M., 72, 78, 86, 331, 456
Maine de Biran, 619
Maiztegui, A. P., 677

Malthus, T. R., 307
Margenau, H., 142, 677
Maroney, M. J., 702
Martin, R. M., 85
Marum, M. van, 624
Marx, M. H., 85, 454, 456
Matthew, W, D., 251
Maxwell, G., 453, 455, 456, 512, 561
Maxwell, J. C., 223, 251, 408, 512
Mayr, E., 72, 73, 86
McCorquodale, K., 85, 454
McKinsey, J. C. C., 386, 387, 393
McLone, R. R., 393
Medawar, P., 761
Meehl, P. E., 85, 142, 454, 528, 560
Mehlberg, H., 12, 40, 193, 331, 607
Melzak, R., 696
Mendeleiev, D. I., 69
Menger, K., 86, 114
Mersenne, N., 221
Merton, R. K., 40, 159, 193, 315, 341, 456, 549, 586, 775
Meyerson, E., 273, 484
Mieli, A., 711
Miles, H. H. W., 37
Mill, J. S., 331, 464, 512, 559, 606
Miller, G. A., 103, 423
Miller, S., 694
Millikan, R. A., 745
Mitcham, C., 586
Mohr, J. C. B., 471
Montesquieu, C. de S. de, 329
Moore, G. E., 6, 121
Morgenstern, O., 586, 677
Moroney, M. J., 711
Morris, C. W., 50, 86
Morris, R. T., 193
Morse, P. E., 570, 587
Moss, F. A., 695
Mössbauer, 548
Moulines, C. U., 392
Müller, E. W., 605, 606
Murdock, G. P. 433
Musgrave, A., 455, 775
Myrdal, G., 570

Nagel, E., 38, 40, 86, 262, 393, 444, 456, 512, 560, 775
Nash, L. K., 40
Naville, E., 263
Needham, J., 273, 570
Neumann, J. von., 433, 677
Neurath, O., 140, 191
Newell, A., 456
Newton, I., 113, 145, 148, 164, 184, 206, 214, 278, 282, 333, 401, 418, 428, 477, 481, 761, 773
Norton, W. W., 705
Nostradamus, 514

Odishaw, H., 676
Oersted, H. C., 679
Orwell, G., 307
Osgood, C. E., 519
Osiander, A., 454
Ostwald, W., 433

Padoa, A., 121, 386, 388, 393
Pap, A., 142, 512
Papo, 155, 156
Parménides, 273
Parsons, T., 341
Parthey, H., 193
Pascal, B., 113, 751
Pasteur, L., 222, 242, 250, 624
Pavlov, I. P., 148, 165, 470, 585
Peano, G., 370
Pearson, K., 510
Peirce, C. S., 192, 308, 494, 542
Peregrinus, P., 708
Périer, 751
Petrosky, H., 587
Petzold, J., 444
Pfanzagl, J., 677
Pitágoras, 418, 643
Planck, M., 32, 442
Platón, 6, 113, 131, 135, 212, 491, 598
Platt, J. R., 539
Plutarco, 289
Poincaré, H., 49, 122, 218, 307, 445
Poisson, 648, 649
Polanyi, M., 31
Pólya, G., 156, 172, 173, 193, 775
Popper, K. R., 6, 40, 135, 160, 192, 193, 227, 239, 242, 264, 272, 444, 454, 456, 464, 470, 512, 539, 542, 549, 560, 577, 586, 693, 735, 742, 775, 778, 779

Price, G. P., 696
Priestley, J., 50, 511, 685
Prout, J., 226
Ptolomeo, 444, 454, 560, 764, 765, 773

Quine, W. V. O., 86, 116, 122, 298, 625, 762
Quintanilla, M. A., 587

Rabi, I. I., 149
Ramón y Cajal, S., 710, 711
Ramsey, F. P., 191, 409
Randall, Jr., J. H., 711
Rankine, A. O., 249
Rapp, F., 587
Rapoport, A., 272, 412, 549
Rashevsky, N., 401, 560
Reichenbach, H., 242, 308, 315, 329, 444, 559, 560, 578, 741, 778
Rescher, V. N., 6, 199, 561, 587, 775
Rey, J., 221, 222, 680
Rickert, 471
Robertson, J. M., 18, 250
Robinson, G., 18, 676, 677
Roentgen, W. K., 149
Rorty, R., 6
Rosembloom, P. C., 393
Rosenberg, M., 18, 205, 421
Rusell, B., 95, 114, 142, 235, 251, 263, 272, 329, 408, 570, 597, 619, 626
Rutehford. E. lord, 538
Ryle, G., 520, 599, 606

Sacristán, M., 86
Sadosky, M., 677
Scriven, S., 455, 512, 561
Scheffler, I., 561
Schiller, F. C. S., 264
Schlesinger, G., 262
Schlick, M., 192, 251, 577
Schon, D., 263
Schrödinger, E., 331, 643
Schultzer, B., 624, 677
Seebeck, T. J., 505, 506
Seeman, M., 193
Selye, H., 611
Sellars, R. W., 724
Semmelweis, I., 222
Sewel, W. H., 37, 38, 761
Sexto Empírico, 103, 250
Shankland, R. S., 407
Sheriff, M., 695
Shils, E., 341
Shimony, A., 307
Simon, H. A., 434, 456, 587
Simpson, G. G., 72, 75, 86, 104, 206, 329, 606
Skinner, B. F., 341, 455, 535
Skolem, G. Th., 433
Smart, J. J. C., 290, 456
Smith, J. M., 421
Sneath, P. H. A., 637
Sneed, J., 371, 392
Snell, J. L., 421
Snell, W., 278, 279, 282
Soal, S. G., 39
Soddy, F., 248
Sokal, R. R., 637
Solomon, H., 421
Sorokin, P., 103
Spence, K. W., 454
Spencer, H., 598
Spencer, R. F., 618
Spencer Brown, G., 773
Spinoza, B., 392
Stahl, G., 193
Stanley Jevons, W., 85, 331
Steebbing, L. S., 598, 623
Stegmüller, W., 371, 392
Stein, P. K., 677
Sternberg, S., 761
Stevens, S. S., 220, 383, 408
Stevinius, 747
Strauss, M. A., 37
Suppe, F., 393, 456
Suppes, P., 58, 86, 392, 393, 434, 587
Susskind, C., 587
Swann, W. F. G., 744
Swedberg, R., 454
Synge, J. L., 423
Szent-György, A., 149, 221, 618

Tarsky, A., 142, 359, 393, 434, 725
Taton, R., 624
Taylor, J. G., 298
Thomas, L., 141, 692
Thompson, d'A. W., 421
Thompson, W. T., 696

Thoreau, 535
Thouless, R. H., 39
Tocqueville, A. de, 533
Toland, J., 250
Tolman, E. C., 84, 454
Tomás de Aquino, 625
Tomilson, G. A., 249
Tonnelat, M. A., 503
Törnebohm, H., 86, 456
Torricelli, E., 746, 747, 749, 752, 753
Toupin, R., 324
Toynbee, A. 478
Trigger, B. G., 775
Trouton, F. T., 249
Truesdell, C., 322, 392, 456, 711
Tryon, R. C., 695
Tyndall, J., 624
Tzu, Hsün, 570

Urtier, 236
Uyeda, S., 168, 625

Vaihinger, H., 236, 423
Venn, J., 261, 330
Verne, J., 514
Vesalio, 708
Vilar, P., 538
Ville, J., 382
Virchow, R., 222
Viviani, V., 750
Volterra, V., 455

Waissmann, F., 626
Wald, G., 121
Walters, R. H., 37
Wason, P. C., 179
Watanabe, S., 529
Watkins, J. W. N., 432, 775
Watson, J., 493
Weaver, W., 454
Weber, M., 141, 142, 471
Weierstrass, 650
Weinberg, A., 149
Weiss, P., 149
Weisskopf, V. F., 454
Wells, H. G., 514, 538
Weyl, H., 330
Wheeler, J. A., 262, 669
Whewell, W., 50, 113, 142, 220, 329
White, D., 456
Whitehead, A. N., 307, 408, 599
Whittaker, E., 18, 676, 677
Whyte, W. H., Jr., 149
Wiener, N., 560
Wiener, P. P., 12, 186, 308, 494
Wigner, E. P., 262
Wilson, E. B., 18, 40, 264, 677, 705
Willoughby, 571
Wittgenstein, L., 7, 113, 191, 510, 597, 778
Wold, H., 561
Wolff, C., 734
Wolpe, J., 37, 38, 585, 695
Wolpert, L., 40
Wood, A. B., 249
Woodger, J. H., 58, 86, 264
Woolgar, S. 697
Wrigth, G. H., von, 559, 775

Young, J. W. A., 370
Young, J. Z., 49, 773
Yule, G. U., 310, 331,
Yule, I., 711

Zarrow, M. X., 693
Zetterberg, H., 421
Zilsel, E., 273
Zubin, J., 135
Zurek, W. H., 669

ÍNDICE ANALÍTICO

acaecimiento, analizabilidad, 591, 592
– concepto, 591
acción, 562ss
acción máximamente racional, caracterización, 562
– racional. carácter instrumental, 562
– y conocimiento, relación, 569
acertijos y problemas científicos, comparación, 172
adición física y matemática, diferencia, 629, 631
agregado, 521
ambigüedad de los diagnósticos, reducción, 467
análisis, pasos, 26
– de significación, postura filosófica, 124, 125
– semántico, 47
– sintáctico, 47
analogía estructural, inferencia, 713
– sustantiva, inferencia, 713
anticipación, tipos, 513; *véase* predicción
aplicación de las ideas científicas: de la explicación a la acción, 457ss
aposteriorismo, caracterización, 620
– crítica, 620
apriorismo, fracaso, 620
axioma, concepto, 351
axiomas, caracterización por el concepto clave de la teoría, 107
– centrales y periféricos, 354
– e hipótesis, 197
– invención o creación, 351
– precisión y riqueza, 347
axiomatizabilidad y completitud formal, equivalencia, 390

biología, jerarquía linneana, 69
– sistemas taxonómicos, 69
búsqueda de la ley, la, 273ss

"cajanegrismo", crítica, 452
cálculo de los sistemas axiomatizables, teoremas, 359
cambio planificado, 678ss
cantidades, *véase* variables cardinales
casualidad y predicción, 524, 525
ciencia, alcance, 26, 27
– aplicada, 23; *véase* tecnología
– – división, 23
– – y pura, relación, 576
– carácter monista, 27
– – pluralista, 27
– clasificación, 21, 23
– concepción errónea, 29
– conocimiento, 3
– creciente importancia, 30
– de la inferencia no-deductiva, conclusión, 718
– definición, 14, 25
– descripción, 24
– esfuerzo por la sistematización, 309
– evolución teorética, 333
– exigencia de inteligibilidad, 483
– expansión, 30
– factual, generalizaciones empíricas,309
– – presupuestos relativos, 158
– formal, lógica y matemática, 259
– generalizaciones, 35
– grados de inteligibilidad, 483
– hipótesis filosófica de la cognoscibilidad limitada, 257
– – filosóficas presupuestas, 252
– historia de la, 223
– intrincación de elementos, 440
– investigación, 3, 24, 26; *véase* método científico
– ley científica, 25
– límites, 27, 29, 30
– objetiva y operativismo, 132
– objetivo, 10, 27, 32
– – extrínseco, 23
– – intrínseco, 23
– peculiaridad, 5
– planteamiento representacional, 258
– presupuesto filosófico realista, 252

– presupuestos filosóficos del determinismo, epistemológico, 255, 256
– – – del determinismo ontológico, 255
– – – formalistas, 259
– presupuestos filosóficos pluralistas, 254
– progreso, 334
– pura y aplicada, relación, 576
– relación con otros conocimientos, 32
– repercusión, 30
– "sustancia", 5
– teoría científica, 25, 37
– y filosofia, relación, 252, 261
– y lenguaje, 42
– y modas, 166
– y no-ciencia, diferencia, 11, 17, 26, 32
– y positivismo tradicional, 258
ciencias de la ciencia, 28
– del hombre, modelos matemáticos, 410
– factuales, 19, 20, 21, 25
– formales, 19, 20, 21
científico, postura explicativa, 509
clases, 282ss
clases: forma y contenido, 207ss
clases: punto de vista gnoseológico, 212ss
clases y relaciones, extensionalización, 57
clasificación, 67
– artificial, 74
– objetiva, 74; *véase* sistemática
– principios lógicos y metodológicos, 67
– sistemática, 69, 72
– universo del discurso, 67
completitud formal y axiomatizabilidad, equivalencia, 390
comprensión, carácter psicológico, 483
computar, *véase* contar
cómputo, 644ss
cómputo atómico-teorético, ejemplo de cómputo indirecto, 648
– empírico, características, 645
– indirecto, procedimiento, 647
– condiciones, 647
– tipos, 646, 649
concepto, 41ss
concepto científicamente válido, condiciones necesarias, 137
– – – condiciones suficientes, 138
– connotación, *véase* concepto, intensión
– de ácido, evolución, 112
concepto de "validez", el, 136
concepto, definición de trabajo, 60
– denotación, *véase* concepto, extensión
– dominio de aplicación, *véase* concepto, extensión
– extensión, 61
– generalidad, 61
– intensión, 58
– núcleo intensional, 60
conceptos científicos, análisis filosófico, 87
– clases (punto de vista lógico), 53, 54
– – (punto de vista semántico), 52
– clasificación por sus funciones, 79, 80
conceptos comparativos, caracterización, 630
– comparativos, cuantificación, 629, 631
– cuantitativos, extensiones objetivas y numéricas, 61
– – y relacionales, extensiones, 61, 62
– de clases, atribución de números, 627
– deformación, 98
– diferencias en sus géneros, 56
– división por su alcance sistemático, 81
– estructura lógica, 56
– formación, 96
– formales, validez, 137
– funciones metodológicas, 66
– individuales, atribución de cifras, 627
– lógicos y matemáticos, importancia, 100
– niveles de precisión, 96
– no-comparativos, cuantificación nominal, 629, 630
– no-definidos, 103, 105
– no-observacionales, 82, 83
– – construcciones hipotéticas, 83
– – necesidad, 430
– – selección, 431
– – variables intermedias, 83
– primitivos, *véase* conceptos no definidos
– relacionales, cuantificación, 629
– – y cuantitativos, extensiones, 61
– rígidos inextensibles, 98
– teoréticos factuales, sistemática, 81, 82
confirmabilidad, 231; *véase* contrastabilidad
confirmación empírica, circularidad, 614
– paradojas, 735
– y deductivismo, 742
confirmación y refutación, 775ss
conjetura, caracterización, 514

conjunto, concepto de cardinalidad, 628
– – dilucidador, 99
conocimiento conceptual, 20
– estadios de formalización, 396
– objetividad, 4
– ordinario, 3, 32
– – generalizaciones empíricas, 309
conocimiento: ordinario y científico, 3ss
conocimiento original, génesis por contrastación empírica, 360
– racionalidad, 4
– técnico ordinario, 32
– tecnológico, problemas filosóficos, 562
– y acción, relación, 569
consistencia, criterio de decisión de Bernays, 384
– formal, importancia, 383
– semántica, condiciones necesarias, 342, 343
construcción de teorías, 394ss
contar, concepto, 644
contenido proyectivo y probabilidad, 550
contestación a los porqués, 459ss
contrastabilidad, 227ss
contrastabilidad, condiciones, 239, 240
– criterio de exigencia, 234
– empírica, 227
– – condición necesaria y suficiente, 232, 234
– dificultad de determinación, 231
– niveles, 234
– y significación, 125, 126
contrastación de hipótesis, 725ss
contrastación de hipótesis, esquema general, 730
contrastación de las ideas científicas: de la observación a la inferencia, 589ss
contrastación de proposiciones observacionales, 719ss
contrastación de teorías, 753ss
– – conclusiones, 441
– – estadio empírico, 756
contrastación de teorías, estadio teorético, 756
– inferencia, 756
– dura, características, 743
– e hipótesis, problema, 752
– empírica, modos de eludirla, 227
– indirecta, casos, 729
– y proyección, 514, 542
contrastaciones empíricas, insuficiencia, 732
control, 686ss
control, sistema de, 687
– tipos, 689
controversia Ptolomeo-Copérnico, 764
convalidación de teorías, irrelevancia de la práctica, 568; *véase* teoría falsa
convencionalismo e hipótesis representacionales, 157
correlación, clases, 701
cuantificación de conceptos cualitativos, 636
cuantificación numérica, 627ss
cuantificación numérica, concepto, 627, 638
– – cuestiones de interés filosófico, 634
– – ventajas, 634
– – y medición, relación, 634
cuantificadores, 45
cuestiones científicas ascendentes, estructura, 477
curva empírica, interpolación y extrapolación, 244, 246, 247

dadismo, *véase* datismo
Darwin, teoría de, 765
datismo, 621
dato, concepto, 612
dato-ley, inferencia, 298
dato y evidencia, relación, 614
– y teoría, 356
datos científicos, peculiaridades, 612
– clases según relevancia, 736
– e hipótesis, comparación, 194
– en bruto, refinamiento, 617
– sensibles, valoración, 613
– técnicas de sistematización, 617
– últimos, existencia, 616
– valor en la ciencia, 743
datos y evidencia, 612ss
deducción y explicación, relación, 462
deducibilidad, 350ss
deductivismo y confirmación, 742
definibilidad relativa, 121
definición, 104ss
definición aristotélica, 102
– científica, características, 105
– concepto, 105
– conclusiones de los valores científicos, 140
– de conceptos científicos, condiciones, 112
– de magnitudes, 110

– definiendum y definiens, 105
– exigencias de alcance ontológico y metodológico, 118
– – pragmáticas, 117
– – semánticas, 115
– – sintácticas, 115
– explícita, formas y clases, 106
– función metateórica, 106
– funciones en la ciencia, 118, 120
– implícita, clases, 106
– intercambiabilidad y eliminabilidad, 119
– naturaleza, 107
– nominal, géneros por su forma lógica, 106
– propiedades, 114
– y ecuación, 108
definiciones contextuales, *véase* definiciones postulacionales
– postulacionales, 107
demostración, *véase* inferencia deductiva
demostrar, probar y deducir, equivalencia formal, 354
denotación, 52
densidad, estudio definitorio, 109
descripción, clases, 506, 507
– y explicación, distinción, 506
descriptivismo, caracterización, 504
– efectos dañinos, 506
– especies de, 503
descriptivismos, crítica, 504
– raíces, 504
desiderata formales, 383
determinación extensional, 89
determinismo filosófico, 255
– y teoría de los quanta, 256
diagrama de Euler-Venn, 70, 92
– de Hasse, 71
dificultades y paradojas, 550ss
dilucidación, 87ss
dilucidación conceptual, técnicas, 96
dilucidación, técnicas, 96
división, forma de clasificación, 67
división, ordenación y sistemática, 66ss
división y jerarquías, diferencia, 72

ecuación y definición, 108
empirismo contemporáneo, críticas, 662
– radical, 25
enfoque científico, 5, 29
enfoque científico y herramientas, 1ss
"entidades teoréticas", existencia objetiva, 338
enunciado legaliforme, 270, 276; *véase* ley
"enunciado nomológico", concepto, *véase* "fórmula legaliforme", concepto
enunciado que no expresa una ley, ejemplo, 310
enunciados acerca de cualquiera, generalización, 293
– legaliformes, clases de interés lógico, 311
– – de nivel alto, 313
– – de nivel bajo, 314
equilibrio hidrostático, concepto, 747
equivalencia epistémica, 723
escala métrica incompleta, características, 653
– unidad o intervalo básico, 654
escala y unidad, 650ss
escolástica y problemas científicos, 146
esquema de ley, 269
especificación estadística, inferencia, 714
especulación acientífica, 25
estimación de teorías, criterios, ontológicos, 770
– – criterios metodológicos, 770
– – criterios gnoseológicos, 768
– – criterios formales, 767
– – criterios semánticos, 768
estructura nómica, *véase* ley objetiva
evidencia, carácter relativo, 614
– *caracterización*, 614
– indirecta, importancia científica, 608
– lógicamente directa, 608
– lógicamente indirecta, 608
– y dato, relación, 614
– y referencia, distinción, 437
exactificación, 96
examen de teorías, 762ss
expectativa, caracterización, 513
experiencia, 25
– humana, 25
experimento, 678ss
experimento, aplicación del estímulo, 691
– científico, definición, 678
– – dependencia de las ideas, 707
– contrastación, 706
– contrastaciones de significación, 703
– control, 678
– correlación entre variables, 701
– estadístico, estrategia de investigación, 700
experimento inconcluyente, carácter, 709

– funciones, 706
– mental, 691, 692
– operaciones, 690
– planteamiento experimental, 686
– significación de diferencias de grupos, 698
– supuestos, 679
– uso de modelos, 691
experimentos, clases de proyección, 694
– concluyentes, cuestión, 709
– ejemplos, 679, 680
– factoriales, 688
– proyección, 694
– tipos, 679
explicación, 459ss
explicación acientífica, 469
– *ad hoc*, 494
– aspecto psicológico, 843
– científica, características, 471
– – cuestión sobre sus límites, 507
– – definición, 471
– – esquemas, 476
– – de generalizaciones, 474
– – de leyes, 475, 476
– – de tendencias, 474
– – de un no-hecho, importancia, 473
– – objetivo, 483
– esquemas deductivos, 461
– estadística de una ley, 486,489
– ejemplo, 487
– histórica de leyes, 490
– explanandum, 459
– explanans, 640
– grados de profundidad, 482
explicación mecanísmica, 478ss
explicación mecanísmica de leyes, justificación, 685ss
– – profundidad, 481
explicación mecanísmica y reducción a leyes, 485ss
explicación interpretativa y subsuntiva, distinción, 480
explicación no científica, 464ss
explicación no reductiva, ejemplo, 474
– ordinaria, 467
– poder genético, 463
– racional científica, características, 467
– – clases, 461
– – concepto, 459
– – definición, 461
– – ordinaria, características, 467
– – tipo diagnóstico, 467
– rasgos, 462
– reductiva, 490
– – ejemplo, 472
– – espiritualismo, 491
– – mecanicismo, 491
– subsuntiva, crítica, 479
explicación subsuntiva de leyes, 485
– – y mecanísmica, distinción, 479
– tipos, 493
– y deducción, relación, 462
– y descripción, distinción, 506, 507
– y proyección, diferencias, 516, 557
explicaciones, limitación, 494, 495
– racionales no científicas, 465
expresión lingüística, contenido, 44
– – forma, 44
expresiones del lenguaje científico, clases, 46
expretación, *véase* explicación mecanísmica
– de leyes, clases, 485
extrapolación retrodictiva, 531

falibilismo, 4
fenomenalismo, 257, 593
fenomenismo, *véase* fenomenalismo
fenómeno, concepto, 592
– descripción, 592-593
filogénesis y taxonomía, relaciones, 75
filogenética, y sistemática alfa, interpretación metodológica, 75
filosofía de la ciencia, 190
– progreso, 187
– reglas para una metodología, 189
– y ciencia, relación, 252, 260
filósofos, clases, 187
filtro, definición, 356
fin de los problemas científicos, el, 179ss
forma condicional, paradojas de la implicación, 295
forma y contenido, 290ss
formalización, 431
formas de transición, problema de clasificación, 92
fórmulas científicas, 267
fórmula-hecho, relación, 303
"fórmula legaliforme", concepto, 300

– – correlatos, 303
– – dominio de validez, 301, 302
– – ejemplo, 311
– – enunciado de objeto, y metaenunciado, 317, 318
– – y ley objetiva, relación, 302, 303
"fórmula metanomológica", concepto, 300
"fórmula nomopragmática", concepto, 300
fórmula nomológica y regla, 574
formulación, 198ss
fórmulas analíticas, 20
– condicionales satisfactibles, concepto modal de posibilidad, 296
– de analiticidad semántica, 20
– – sintáctica, 20
– fuerza lógica, 237
fórmulas legaliformes, enunciados de invariancia, 318, 319
– – secuencia progresiva, 301
– metanomológicas, 319
– – equivalencia pragmática, 321
– – descriptivas, 317
– – – analíticas, 319
– – – clases, 319
– – – sintéticas, 319
– – géneros, 317
– – selección, 320
– – prescriptivas, 318
– – – clasificación valorativa, 321
– valores veritativos, 227
fórmulas y pautas, 299ss
fuente de la ciencia, la, 145ss
función, dominios, 54
– proposicional, 45
funciones (experimento), 706ss
funciones (hipótesis), 243,244ss
funciones (observación), 620ss
funciones sentenciales, *véase* función proposicional
funciones y alcance, 503ss
fundamento, 220ss

generalización empírica, transformación en ley de nivel bajo, 312
– – y ley exacta, diferencias, 279
– estadística, inferencia, 714
generalizaciones empíricas, valor veritativo, 721
– observacionales, *véase* generalizaciones empíricas
geostatismo-heliostatismo, *véase* controversia Ptolomeo-Copérnico
grupo de transición, definición, 92
grupos experimental y de control, homogeneidad, 688

hecho, 591ss
hecho, concepto, 591
– equívocos y paradojas, 596
hecho-fórmula, relación, 303
hecho objetivo, primacía sobre el fenómeno, 305
hecho, clases, 591, 593
– posibles, cuestión, 595
– relación con el sujeto conocedor, 595
– significabilidad, 597
– y leyes, relación, 324
heurística, 174ss
hipótesis, 194ss
hipótesis, *ad hoc*, 248
– – – contrastabilidad independiente, 248
– apoyo inductivo, 741
– científica, condición de analiticidad máxima, 239
hipótesis científica, condición de sinteticidad, 238
– – datos relevantes, 737
– – grado de ostensividad, 215
– científicas, físicas, 201
– – fundamento, 220
– – peso de la evidencia empírica, 738
– – psicológicas, 201
– – requisitos de formulación, 200
– confirmables e irrefutables, *véase* hipótesis irrefutables y confirmables
– confirmación, 739
– clasificación epistemológica, 194
– – por su correlato inmediato, *véase* hipótesis, clasificación semántica
– – por su profundidad, 216
– – semántica, 210
– clasificaciones, 207
– – sintácticas, 207
hipótesis, consistencia lógica, 237
– contrafactualmente potentes y débiles, 209
– contrastabilidad, 725
– contrastables, tipos, 231

– contrastación empírica, 16, 727, 730
– control, 250
– convalidadas, 222
– de correlación, 274
– del cero, 717
– desconfirmación, *véase* hipótesis, confirmación
– ejercicios de contrastación, 201
– ejercicios de formulación, 200
– empíricamente contrastables, 727
– empíricas, conjeturas, 223
– exigencia de convalidación empírica, 222
– – – teoréticas, 222
– factual, definición, 194
– fenomenológicas, 216
hipótesis filosóficas en la ciencia, 252ss
hipótesis, funciones, 244
– fundamentales o básicas, 197
– generales, especificabilidad, 208
– grado de confirmación empírica, 739, 742
– grados de precisión, 210
– interpretación, 246
– irrefutables, necesidad, 328
– – y confirmables, tipos, 332
– – – valor heurístico, 232
– justificación teorética, 220
– mixtas, 216
– modelos empíricos, 241
– necesidad, 197, 244
– nivel de ocurrencias, 222, 223
– niveles en el conjeturar, 223
– no-observacionales, 215
– observacionales, 215
hipótesis, origen epistemológico, 194
– papel en la ciencia, 196, 244
– plausibles, conjeturas razonables, 223
– postura convencionalista, 248
– – infalibilista, 243
– protectoras, origen psicológico, 249
– representacionales o "mecanísmicas", 216, 218
– – y convencionalismo, 217
– – y positivismo, 217
– rivales, 225
– sentido epistemológico y metodológico, 194, 197
– – lógico, 197
– simplicidad formal, 246
– sobre la identidad factual, 267
– subconjuntos del ámbito de una, 498
– verdadera, requisitos, 237
– y clima intelectual, 221
– y contrastación, problema, 233
– y datos, comparación, 195
– y relevancia, 736
hombre, ser problematizador, el, 145

idea-contenido, 19, 20
idea factual, 19
– formal, 19
idea-signo, 47
idea-realidad, 52
ideas científicas, las, 143
identidad de los indiscernibles, principio leibniziano, 266
– discusión, 265
– factual, hipótesis, 267
implicación, lógica, 353
– – e implicación material, relación, 353
indefinibilidad absoluta, 121
independencia, métodos de contrastación, 386, 388
indeterminación de significaciones, 90; *véase* vaguedad total
indiscernibilidad de los idénticos, principio de, 266
inducción de primer grado, inferencia, 714
– de segundo grado, inferencia, 714
– papel en la ciencia, 741
inductivismo, 212, 714
– y confirmación de hipótesis, 741
inferencia, 712ss
inferencia científica, caracterización, 723
inferencia científica, la, 712ss
inferencia deductiva, 713
– errores, 717
– plausible, carácter, 716
– – control estadístico, 716
– – esquemas, 713, 714
– – papel científico de sus esquemas, 716
– no-deductiva, 716; *véase* inferencia plausible
instrumentos de medición, condiciones, 665
intensión y referencia, 58ss
interpolación retrodictiva, ejemplos, 531
interpretación, 122ss
interpretación, clases de procedimientos, 128

– condiciones, 366, 381
– y teorías, 134
investigación, actitud paleocientífica, 334
– análisis, 174, 177
– búsqueda de problemas análogos resueltos, 175, 177
– científica, 145
– – condición de fecundidad, 166
– – libertad, 169
– consejos, 174
– construcción progresiva, 184
– control de la solución, 175, 178
– de fundamentos, 428
– – alcance, 432
– de problemas, pasos principales, 170
– descubrimiento de los presupuestos, 176, 177
– exportación del problema, 175, 177
– formulación del problema, 174, 175
– identificación de los constituyentes, 174, 176
– localización del problema, 174, 176
– planificación, 175, 177
– selección del método, 175, 176
– simplificación, 175, 176
– transformación del problema, 175, 177
– y problema, relación, 146, 147
investigador, tareas y actitud, 146

jerarquía, 71
– rasgos formales y semánticos, 70
– y división, diferencia, 72
– y teoría, diferencia, 71
jerarquías compuestas, representaciones gráficas, 70

lema, concepto, 355
lenguaje, división, 42
– fenomenista, 49
lenguaje-objeto, 42
lenguaje, pragmática, 43
– semántica, 43
– sintaxis, 43
– y ciencia, 42
lenguajes artificiales, 42
lenguajes científicos, 41ss
lenguajes naturales, 42
– ordinario y científico, 47
ley, 265ss
ley científica, concepto, 265, 271
– – definición, 315
– – requisitos, 314
– de conversión de unidades, 656
– de la invariancia bajo el cambio de unidad, 656
ley, enunciados estocásticos, 292
– exacta y generalización empírica, diferencias, 279
– función restrictiva, 271
– galileana sobre los graves, 294, 297
– "objetiva", concepto, 299
– objetiva y fórmula legaliforme, relación, 302
– pasos previos a su enunciado, 304
– rasgo de relación constante entre variables, 270
– selección de variables, 273
"ley", significaciones en ciencia, 299
leyes científicas, ejemplos ilustrativos, 284
– – y correlatos, 306
– cuasi-universales, 291
– de alto nivel, equivalencia local de los sistemas de referencia, 304
– de bajo nivel, crítica de las técnicas de búsqueda, 281, 304
– – – papel de la observación, 276
– – – relatividad, 304
– – – técnica de interpolación, 277
– – – técnica de análisis dimensional, 279
– – – y hechos perceptibles, 303
leyes de leyes, 316ss
generales cuantitativas, características, 270
– interniveles, 283
– intranivel, clases, 283
– no-universales, enunciados estadísticos, 291
– – – probabilitarios, 392
– nuevas, papel del hombre, 227
– objetivas, función restrictiva de posibilidades lógicas, 323
– objetivas, problemas filosóficos, 300
– papel de los sistemas de referencia, 304
– requisito lógico de generalidad, 290
– teoréticas, obtención, 314
– universales, 291
– – cuestión relativa a la forma condicional, 294
– "violación" por el hombre, 326
– y excepciones, 323
– y hechos, relación, 324
lógica, 19

– autonomía, 357
– de las magnitudes, 62
lógica de problemas, 149ss
lógica deductiva y contrastación de hipótesis, 731
– inductiva, 732

magnitud, concepto, 650
– elección de unidades, 655
– introducción de una unidad, 658
magnitudes, *véase* conceptos cuantitativos
magnitudes, aclaraciones, 632
– análisis extensional, 63
– convención, 655
– derivadas, obtención de unidades, 657
– fundamentales, elección de unidades, 655
– – sistema de unidades, 657
– tipos, 632
matemática, 14, 19, 20
– función de la ciencia, 420
– iteración convergente, 15
– método dicotómico, 15
matematización, 409ss
matematización, ejemplos, 413
– factores, 410
– opiniones erróneas, 419
mecánica cuántica, controversia de fundamentos, 126, 127
– – y novedad conceptual, 97
– hipótesis de la contracción, 248
medición, 627ss
medición, cambio de escala, 652
– caracterización, 627, 638, 650
– convergencia externa, 674
– – interna, 673
– directa, 661
– elaboración de datos, 670
– elección de variables independientes, 664
– elementos necesarios, 659
– encuadre en una cadena de operaciones, 674
– errores experimentales, 671
– escala, 651, 652
– estructura, 651
– exactitud, 672
– indirecta, 663
– precisión, 653, 672
– resultado, 670
– técnicas, 661
– tipos de escalas, 652
– y cuantificación numérica, relación, 634
mediciones atómicas, características, 668
mediciones indirectas, ejemplos, 663
– tipos, 652
mesurandum, estimaciones, 638
– valor real, 642
– valores, 642
metaciencia, clasificación, 28
metalenguaje, 42
metaley, ejemplos, 285
método científico, el, 7ss
método científico, 11, 13, 19
– – operaciones, 8
– – regla general, 11
– – reglas, 9
– concepto, 7
– de aproximaciones sucesivas, 16
– especial empírico, justificación teorética, 17
– experimental, 686, 708
método experimental, técnicas, 686
– general, 7, 19; *véase* método científico
– hipotético-deductivo, 198
– – – ejemplo de aplicación, 223, 225
metodología científica, presupuestos filosóficos pluralistas, 254
métodos especiales, 7, 17, 19; *véase* técnicas científicas
mitología y ciencia, 26
modas y ciencia, 166
"modelo", sentidos de, 369
modus ponens débil, inferencia, 715
– tollens débil, inferencia, 715

naturalismo, objetividad, 4
niveles de entidades, 51
– lingüísticos, 43
no-ciencia y ciencia, diferencia, 11, 17, 26, 32
nominación, pseudoexplicación, 464
novedad, clases, 556
– conceptual y mecánica cuántica, 93
– – y progreso, 97
números computados indirectamente, 648
directamente computables, 649

objetivación, 607ss
objetivación, caracterización, 607
– postura operativista, 610

objetivo y alcance de la ciencia, 24ss
objeto, concepto, 594
objetos, clases, 594
– de conocimiento, construcción, 613
observabilidad, 599ss
observabilidad, concepto, 601
observación, 591ss
observación actual, elementos, 601
– – proceso, 600
– caracterización, 591, 599, 601
– científica, carácter intersubjetivo, 602
– funciones en la ciencia, 623
– indirecta, papel científico, 604
– propiedad indirectamente observable, 604
– relación con la teoría científica, 604
– tipos, 599
– y realidad, relación, 603
operaciones empíricas, clases, 589
operativismo, 379
– crítica, 131
– y ciencia objetiva, 132
óptica, estadios, 496
ordenación, forma de clasificación, 68
– parcial y completa, 70

paradigma, un marco y una comparación, un, 168ss
parámetro, 269
parapsicología, 34
Pascal, experimento de, 751
planteamiento de temas, caracterización, 452
planteamiento interdisciplinario, 452
planteamientos científicos, discrepancia, 453
poder explicativo, 494ss
positivismo e hipótesis representacionales, 218
– tradicional y ciencia, 258
postulado de interpretación, 133
potencia proyectiva, 539ss
práctica-acción racional, proceso, 24
precisión conceptual y proceso del conocimiento, 101
– de conceptos, punto de vista semántico, 103
predicados, propiedades semánticas, 210
predicción, 513ss
predicción científica, caracterización, 513; *véase* proyección científica
– – y pronóstico ordinario, 555
– física y previsión histórica, diferencias, 536
– teoría de Hume, 554
– y casualidad, 525
– y retrodicción, relación, 527
pregunta, trasfondo, 157, 158
– y respuesta, relación, 153
preguntas, caracteres relativos, 158
– contralegales, 160
premisas subsidiarias, límites, 352
presupuestos, clasificación, 158
– concepto, 198
previsión causalmente efectiva, niveles, 580
– histórica de novedades, fundamentos, 535
– – objetivos, 535
– – posibilidad, 534
– – y predicción física, diferencias, 536
– tecnológica, basificación teórica, 583
– – caracterización, 578
– – contrastabilidad, 580
– – fiabilidad, 583
– – fuentes de incertidumbre, 584
– – y pronóstico técnico, diferencias, 582
– – y sistema no predictivo, diferencias, 580
previsión tecnológica, la, 578ss
primitivas, desiderata, 431
– significación factual, 429
– – operacional, 430
principio de Arquímedes, caso instructivo, 286
– de covariación, ejemplo de ley científica, 316
– de legalidad, carácter ontológico, 328
– – confirmabilidad, 326
– – estatuto, 327
principio de legalidad, excepción aparente, 326
– – función metodológica, 328
– – razones de apoyo, 327
– ontológico de legalidad, 324
probabilidad: cálculo, modelos, interpretaciones erróneas, 371ss
probabilidad, concepto dilucidador, 100
– condicional, concepto, 375
– y contenido proyectivo, 541
problema, 145ss
problema bien concebido, 157
– – formado, reglas, 153
– – formulado, exigencias formales, 157
– científicamente bien formulado, condiciones necesarias y suficientes, 166
– científico, existencia y unicidad de la solución, 165

– – relación planteo-solución, 165
– clases de ideas, 150
– concepto y aspectos, 149
– condición necesaria, 156; *véase* problema bien formado, reglas
– filosófico, definición denotativa, 188
– e investigación, relación, 146
– valoración, 148
problemas acerca de valores veritativos, 150
– aspecto semántico, 156
– atómicos, 155; *véase* problemas, formas elementales
problemas científicos, 161ss
problemas científicos, carácter no excluyente de su clasificación, 163
– – características propias de sus clases, 161
– – clasificación, 161
– – modos de terminar, 179
– – origen, 163
– – sistematicidad, 168
– – tesis de investigación, 170
– – y acertijos, comparación, 172
– – y escolástica, 146
– combinación, 153
– conjunción, 154
– convenciones, 157
– – de decisión, 156
– de estrategia, clasificación, 162
– de la ciencia factual, control de la solución, 172
– – – descripción, 171
– – – esquema de resolución, 171
– – – exploración preliminar, 171
– – – formulación, 171
– – – interpretación, 172
problemas de definición, 114ss
problemas determinados, 151
– disyunción, 154
– elaboración, 147
– elementales, división aristotélica, 156
problemas elementales, división de Papo y Polya, 155
– equivalencia, 155
problemas filosóficos, 187ss
problemas, formas elementales, 152
– fuertes y débiles, 155
– implicación, 155
– indeterminados, 152
– irresolubles, 182, 183
– – existencia, 183
– legítimamente eliminables, 180
– moleculares, 155; *véase* problemas, combinación
– negación, 154
– oscuros, actitud científica, 158
– resolubles, 182
– sobre funciones, 151
– – individuos, 151
– sustantivos, clasificación, 161
– triviales, 180
procedimientos de interpretación, 128ss
proceso, concepto, 592; *véase* hecho
profecía, caracterización, 514; *véase* predicción
profundidad, 545ss
prognosis, caracterización, 514; *véase* predicción
progreso conceptual, exportación de ideas, 97
pronóstico ordinario y predicción científica, 555
– técnico y previsión tecnológica, diferencias, 582
propiedad y valores numéricos, 55
proposición, *véase* función proposicional
– hipotética, 198
– observacional verdadera, problemas, 719
– probabilidad condicional, 542
– proyectiva, carácter sintético, 540
– – contenido proyectivo, 541
– – requisitos, 540
– – valor veritativo, 550
proposiciones de protocolo, 228
– elementales, clases, 46
– factuales simples, contrastación, 719
– observacionales, problemas de contrastación, 722
– – estimación, 724
– teoréticas y empíricas, convención, 723
protociencia, concepto, 25, 32
proyección, 513ss
proyección científica, características esenciales, 515
– – conclusiones, 528
– – ejemplos, 516
– – estricta, 529
– – estructura lógica, 516
– – falibilidad, 555
– – laxa, 529

– – progreso, 518
– colectiva e individual, 521
– estadística, 528
proyección estocástica, 520ss
proyección histórica, 529ss
proyección histórica, carácter previsivo, 533
– – – retrodictivo, 532
– instrumentos pseudocientíficos, 583
– nomológica, condiciones, 530; *véase* proyección científica estricta
– paradojas, 550
– retrospectiva, 529
– series temporales al azar, 526
– verosimilitud anterior, 542
– – posterior, 542
– y contrastación, 540, 542
– y explicación, diferencias, 516, 557
proyectabilidad, carácter relativo, 525, 526
– de una teoría, componentes, 546
proyecto, 693ss
prueba de la contrastación, 703ss
pseudociencia, 32ss
pseudoproblemas, 180
psicoanálisis, 32, 36

quimeras, 180

rabdomancia, 33, 34
ramas de la ciencia, las, 19ss
"realidad", concepto del científico, 51, 557
realidad y observación, relación, 603
realismo, 593
reconstrucción (formalización), 423ss
reducción, caracterización, 491
– débil, inferencia, 715
– fuerte, inferencia, 715
reduccionismo, 99
reductivismo espiritualista, 491
– mecanisista, 491
referencia y evidencia, 434ss
referición, concepto, 128
– coordinativa, 129
– nominal, 133
refericiones, conclusión, 132
– operativas, 130
– ostensivas, 128, 129
refutabilidad, 231; *véase* contrastabilidad
regla, concepto general, 571
– de designación, *véase* referición nominal
regla de la ley, la, 322ss
regla fundada, definición, 572
– fundamentación, 572
"regla fundamentada", concepto, 300
regla tecnológica, la, 571ss
regla y fórmula nomológica, 575
reglas, búsqueda de fundamentos, 189
– convencionales, 572
– de significación, *véase* reglas semánticas
– equieficientes, 574
reglas, estadio descriptivo, 11
– géneros, 572
– justificación pragmática, 10
– – teorética, 10
– semánticas, 133
relación de designación, 52, 53
– de referencia, 51
– *input-output*, 448, 449
relaciones diádicas, propiedades, 53
– físicas, cuestión, 594
– y clases, extensionalización, 57
relevancia, criterio, 336
– e hipótesis, 737
requisitos (hipótesis), 237ss
requisitos (ley), 309ss
resolubilidad de problemas, condiciones, 171
– carácter relativo, 183
resultado, 670
retrodicción científica, 515; *véase* predicción
– y predicción, relación, 527
retrospección, grupos, 513; *véase* anticipación

significación, 698ss
significación como verificabilidad, 125
significados de "hipótesis", los, 194ss
significación, doctrina extensionalista, 64
– – intensionalista, 64
– sentidos, 122, 123
– y contrastabilidad, 125
signo, significación, 64, 94, 102
– vías de significación, 102
signos, ambigüedad, 87
– multiplicación, 102
– objetivamente significativos, 124
silogismo estadístico, 489
símbolo, interpretación objetiva, 379
– – operacional, 397

– significación nuclear, 64
símbolos, abstracción semántica, 362
– empíricamente significativos, 123
– formalmente significativos, 123
– significaciones sinónimas y distintas, 64
– sin sentido, 123
sintaxis, reglas de formación y transformación, 43
sismología, 440
sistema de unidades, 658
– experimental, 687
sistema nervioso de la ciencia, el, 332ss
sistema no predictivo y previsión tecnológica, diferencias, 580
– semántico, *véase* teoría interpretada
– sintáctico, *véase* teoría abstracta
– taxonómico, *véase* jerarquía
sistemas concretos, caracterización, 593; *véase* hecho
"sistemas del mundo", diferencias, 764
sistemas semiinterpretados, ejemplos, 368
sistemática alfa y filogenética, interpretación metodológica, 74, 76
– biológica, 74, 76
sistemática de conceptos, 79ss
sistemática preteorética a la teórica, de la, 73ss
sistemática química, evolución, 76
– y teoría, 77
sistematicidad, características, 334
sistematización, 77
subsunción científica, 471ss
sueños, objetificación,609

táctica científica, la, 13ss
taxonomía y filogénesis, relaciones, 75
técnica de casualización, 690
– de cuclillo, 215
técnicas, 661ss
técnicas casi universales, 14, 16
– científicas conceptuales, 14
– – empíricas, 14
– experimentales, función de control, 687
tecnología, objetivo, 578
teorema de deducción, 353-354
teoremas, división, 354
– funciones, 354
teoría abstracta, caracterización, 362, 363
– – concepto de interpretación, 366
– – criterio de consistencia, 385
teoría abstracta e interpretación, 362ss
– – modelo conceptual, 366
– – – numerable, 381
– – – factual, 367
– – modelos mixtos, 368
– ámbito, 497
– axiomática, base mínima, 357
– – caracterización, 351
– – de los fantasmas, 419
– – definición, 357
– – independencia de las primitivas, 386
– – – de los axiomas, 388
– – requisitos formales, 383, 389
– bernoulliniana de la utilidad, 402
– caracterización, 398
– causal de la percepción, 605
– científica, aplicaciones, 457
– – caracterización, 332
– – construcción, 394, 400
– – imperfección, 339
– – unidad formal, 342
– – – material, 342
– – vía histórica y orden lógico, 348
– cierre semántico, 429
– como sistematización de datos, crítica, 399
– como un todo, características, 354
teoría completamente formalizada, composición, 428
– completitud formal, 390
– concepto de potencia explicativa, 501
– conceptos teoréticos, 398
– consistencia formal externa, 384
– – – interna, 383
– construcción, 359, 395, 407
– contrastación empírica, 755, 760
– convenciones pragmáticas, 428
– de caja negra, 447, 448, 450; *véase* teorías fenomenológicas
– – traslúcida, 448, 449; *véase* teorías representacionales
– de grupos, consistencia, 386
– de la probabilidad, cuestiones, 337
– – ejemplo de teoría abstracta, 371
– – interpretaciones, 376
– – modelos, 377
– de los quanta, examen semántico, 253
– – inconsistencia semántica, 379

– – y determinismo, 255
– definición, punto de vista lógico, 355
– del electrón, evolución, 437
– del orden parcial, ejemplo de teoría abstracta, 363
– – – interpretaciones, 365
– del origen de los organismos, 767
– del refuerzo, ejemplo de formalización, 526
teoría dinámica, 394ss
teoría dualista de la verdad, 551
– economía formal, 389
– eje científico, 332
– eficiencia tecnológica, 566
teoría estática, 332ss
teoría factual, axiomatización, 351, 352
– – clases de premisas, 352
– – consideración evidencial, 434
– – – referencial, 434
– – consistencia semántica, 342
– – contrastabilidad, 437
– – contrastación empírica, 439
– – evidencia desfavorable, 443
– – formalizada, fundamentos, 425, 429
– – premisas subsidiarias, 352
– – reglas evidenciales de interpretación, 436
– – – referenciales de interpretación, 436
– – significación, 435
– – supuestos iniciales, 345
– falsa, razones de su eficiencia, 566
– formal formalizada, fundamentos, 425
– – y teoría formalizada, diferencias, 389
– – formalización, 423
– formalizada, concepto, 389
– grados de imprecisión, 545
– ideas heurísticas de construcción, 395
teoría incompleta e irresolubilidad, 391
– interpretación equívoca, 429
– interpretada, componentes, 379
– lógicamente reconstruida, 423
– matemática de la ciencia factual, concepto, 410
– – de la congruencia, 424
– medida del rendimiento proyectivo, 544
– natural, 395
– operaciones previas a contrastación, 754
– originalidad, 545
– postura escéptica, 757
– precisión, 497
– proceso de contrastación, 756
– profunda, definición, 447
– profundidad, 446
– rendimiento actual, 498
– – explicativo, 497
– – proyectivo, 544, 545, 548
– – proyectivo relativo, 544
– – relativo, 499
– semánticamente inconsistente, concepto, 379
– síntesis de las hipótesis del descubridor, 401
– subconjuntos del ámbito de una, 498
– tecnológica operativa, rasgos científicos, 563, 564
– utilidad de la matemática, 409
– valor veritativo, 758
– valoración explicativa, 495
– y dato, 357
– y jerarquía, diferencia, 71
– y realidad, relación, 337
– y sistemática, 76, 77
teorías axiomáticas, fórmulas, 353
– científicas, conceptos básicos, 347
– – criterios de estimación, 767
– – modelos ideales, 337
– – niveles de profundidad, 445
– – y tecnológicas, comparación valorativa, 564
– conceptualmente equivalentes, 763
– consejos de construcción, 404
– controversias científicas, 764
– criterio de potencia explicativa, 497
– de la luz, secuencia, 495
– demolición, 405
– e interpretación, 133, 134
– empíricamente equivalentes, 763
– factuales, carácter abocetado, 338
– – – simbólico, 338
– – grado de verdad, 771
– falta de técnicas de construcción, 403
– fenomenológicas, 447
– – desventajas, 451
– – propiedades, 450
– – valoración, 451
– grados de formalización, 397
teorías, inexistencia de criterios de decisión 771
– isomórficas, 492
– matemáticas de la ciencia, división, 410
– – ventajas, 417
– – – metateoréticas, 418

– no axiomáticas, fórmulas, 352, 353
– naturales no formalizadas, 397
– profundas, características, 446
– representacionales, 447
– rivales, 763
– solapamiento parcial de las bases predicativas, 492
– – – de las bases axiomáticas, 492
– técnicas de liquidación, 405
– tecnológicas operativas, concepto, 563
– – sustantivas, concepto, 563
– – – y operativas, ejemplos distintivos, 563
– – y científicas, comparación valorativa, 564
teorización, comienzo, 335, 338
– generalización, 403, 412
– invención, 402, 403
– objetivos básicos, 335
– – adicionales, 335
– rasgos, 402
– simplificación, 402, 412
término y concepto, 50ss
términos descriptivos, 52
– sincategoremáticos, 52
Torricelli, pasos de su razonamiento, 748
– supuesto de, 746

Una historia ejemplar: Torricelli, 746ss
unidad conceptual, la, 342ss
universo del discurso, 736

vaguedad, alcance metodológico, 90
– conceptual, formas de transición, 91
– dilucidación, 94
– extensional, 88, 89
– intensional, 88
– total, 89
vaguedad y casos limítrofes, 87ss
validez conceptual, criterio general, 140
– – y filosofía, 140
– – y verdad, confusión, 419
valor medido, 638ss
valor medido y valor real, discrepancia, 639
variable, 267
– dependiente, 268-269
– independiente, 268
variables e invariables, 265ss
variables cardinales, 268
– clases según niveles integrativos, 282
– cualitativas, 268
variables extralógicas, clases, 268
– factuales, clases, *véase* variables extralógicas, clases
– grado de correlación, 274, 276
– individuales o de objetos, 267
– lógicas, clases, 267
variables ordinales, 368
– predicativas, 267
– proposicionales, 267
– recíprocamente irrelevantes, 274
– – relevantes, 274
verdad aproximada, *véase* verdad parcial
– concepto, 720
– empírica, carácter, 552
– factual, carácter, *véase* verdad empírica
– – interés de su búsqueda, 731
– parcial, 721
verdad y acción, 562ss
verdad y validez, confusión, 419

impreso en impresora castillo hermanos, s.a. de c.v.
camelia núm. 4
col. el manto, iztapalapa
25 de junio de 2004